



**DORA SOFIA  
COSTA CARDOSO**

**AS TÉCNICAS ESTATÍSTICAS NA GESTÃO DA  
QUALIDADE: ANÁLISE DE VARIÁVEIS**



**DORA SOFIA  
COSTA CARDOSO**

**AS TÉCNICAS ESTATÍSTICAS NA GESTÃO DA  
QUALIDADE: ANÁLISE DE VARIÁVEIS**

Relatório de Projecto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Doutora Maria João Machado Pires da Rosa, Professora auxiliar do Departamento Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

Aos meus pais pelo seu apoio incondicional.

## **o júri**

Presidente

Professora Doutora Leonor da Conceição Teixeira  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogais

Professora Doutora Cláudia Sofia Sarrico Ferreira da Silva  
Professora Associada com Agregação do Instituto Superior de Economia e Gestão da  
Universidade Técnica de Lisboa

Professora Doutora Maria João Machado Pires da Rosa  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientadora)

## **agradecimentos**

Agradeço ao meu marido Fernando, sem ele não seria possível. Às minhas irmãs e cunhados por estarem sempre lá em todos os momentos. À Marta, ao Tiago e à Sofia por me fazerem sempre sorrir.

Agradeço a toda a equipa da Teka Portugal, por todo o apoio e carinho com que me receberam, em especial ao Eng. João Carvalho e ao Sr. Jorge Fortuna. À Professora Maria João pela sua dedicação e apoio.

**palavras-chave**

Qualidade, microondas, técnicas estatísticas, análise multivariada;

**resumo**

O presente trabalho foi elaborado numa empresa de produção de electrodomésticos, na sua maioria microondas. O principal objectivo deste projecto consiste em analisar um conjunto de peças cuja integridade é fulcral para minimizar a ocorrência de fugas de microondas. Pretende-se destacar a importância das técnicas estatísticas na gestão da qualidade, recorrendo à análise de múltiplas variáveis com o objectivo de reduzir o número de variáveis a controlar. Para tal, foram recolhidas várias peças para amostra que foram posteriormente medidas. A essas medições aplicaram-se técnicas estatísticas, nomeadamente Análise de Variância e Análise factorial. Em conclusão, verificou-se variabilidade nos valores medidos nas respectivas peças, que influenciam a capacidade do processo de produção.

**keywords**

Quality, statistical techniques, multivariate analysis

**abstract**

This project was conducted in a microwave company. The main objective of the study was to analyze a set of parts of the microwave which integrity is crucial to minimize eventual microwave leakages. With this study we pretend to emphasize the importance of statistical techniques to the quality management using multivariate analysis. To proceed with this analysis, some parts the microwave where collected and measured. The results were submitted to several statistical techniques namely analysis of variance and factor dimension reduction. Summarizing, the results obtained shows variability problems that probably will affect the production process.

## Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras .....	iii
Índice de tabelas: .....	v
Índice de gráficos .....	vi
Capítulo I – Introdução .....	1
I.1. Enquadramento do projecto a desenvolver .....	3
I.3. Local de Estágio .....	4
I.4. Objectivos e Metodologia .....	7
I.5. Organização do Relatório .....	8
Capítulo II – Gestão da Qualidade: A Importância do Pensamento Estatístico .....	9
II.1. Qualidade e Gestão da Qualidade .....	9
II.2. Estatística e Melhoria Contínua .....	19
II.2.1. Melhoria Contínua .....	19
II.2.1 As sete ferramentas básicas da Qualidade .....	22
II.3. A estatística e a análise de dados .....	23
II.4. Capacidade do processo .....	28
II.5. Análise Estatística Multivariada .....	29
II.5.1. Análise de Variância .....	32
II.5.2. Análise Factorial .....	34
Capítulo III - Caso de estudo .....	37
III.1. Descrição do problema .....	37
III.2. Guia de onda peça A .....	44
III.2.1. Análise descritiva .....	44
III.2.2. Análise de variância .....	46
III.3. Guia de onda D .....	48
III.3.1. Análise descritiva .....	49
III.3.2 Análise de variância .....	51
III.3.3. Análise factorial .....	54
III.4. Guia de onda peça C .....	56
III.4.1. Análise descritiva: .....	57



III.4.2. Análise factorial .....	61
III.5. Análise das portas .....	62
III.5.1. Análise descritiva .....	64
III.5.2. Análise de variância .....	66
III.5.2. Análise factorial .....	69
Capítulo IV – Conclusão .....	73
Bibliografia .....	77
Anexos .....	79
Anexo 1: Teste Tukey Guia de Onda A .....	79
Anexo 2: Tukey para a Guia de Onda D .....	79
Anexo 3: Análise factorial - Correlações de Pearson Guia de Onda D .....	83
Anexo 4: Guia de onda peça C- Teste à normalidade .....	83
Anexo 5: Teste de Tukey Guia de Onda C .....	85
Anexo 6: Variância total explicada Guia de onda C .....	87
Anexo 7: Tabela com valores após rotação varimax de factores Guia de Onda C .....	88
Anexo 8: Valores da amostra – Guia de Onda A .....	90
Anexo 9 Valores da amostra – Guia de Onda D .....	91
Anexo 10 Dados Guia de Onda C .....	93

## Índice de Figuras

Figura 1: Conceito de qualidade total (Adaptado de Goetsch & Davis, 2006).....	2
Figura 2: Organograma da empresa .....	5
Figura 3: Trilogia da Qualidade (Adaptado de Goetsch e Davis, 2006) .....	12
Figura 4: Relação dos 3 processos da trilogia para a gestão da qualidade .....	13
Figura 5: Ciclo PDCA de Deming .....	21
Figura 6: Exemplo de Regra de Decisão (Fonte: Ferreira, 2010) .....	27
Figura 7: Árvore de decisão de técnicas estatísticas multivariadas .....	31
Figura 8: Diagrama de decisão da análise de factores .....	36
Figura 9: Representação do movimento das moléculas bipolares do microondas .....	37
Figura 10: Carcaça do microondas.....	38
Figura 11: Magnetirão, vedante do magnetirão .....	39
Figura 12: Vedante do magnetirão .....	39
Figura 13: Processo de encaixe da antena do magnetirão na guia de onda .....	40
Figura 14: Soldadura por fusão .....	40
Figura 15: Exemplo de protuberância .....	40
Figura 16: Conjunto de guias de onda após soldadura .....	41
Figura 17: Cavidade onde a guia de onda se vai fundir.....	41
Figura 18: Guia de onda Peça A, C e D (por esta ordem) .....	42
Figura 19: Micrómetro - Equipamento de medição utilizado para as guias de onda...	43
Figura 20: Procedimento de medição .....	43
Figura 21: Guia de onda A.....	44
Figura 22: Boxplot Guia de onda A.....	45
Figura 23: Guia de onda peça D .....	49
Figura 24: <i>Boxplot</i> guia de onda D.....	50
Figura 25: Protubeâncias a medir de futuro .....	53
Figura 26: Guia de Onda peça C.....	56
Figura 27: Gráfico de médias das espessuras .....	60
Figura 28: Gabarit específico para medição das portas.....	63
Figura 29: Ponteira do comparador onde a porta assenta para ser medida .....	63
Figura 30: Oito pontos da porta sujeitos a medição.....	64

Figura 31: Análise comparativa dos pontos medidos na portas .....	68
Figura 32: Conclusões retiradas da AF- Planidade das portas .....	72

**Índice de tabelas:**

Tabela 1: Estatísticas de Localização (Adaptado de Guimarães e Cabral, 1997) .....	26
Tabela 2: Estatísticas de dispersão (Adaptado de Guimarães e Cabral, 1997) .....	26
Tabela 3: Análise descritiva guia de onda A .....	44
Tabela 4: Teste à normalidade Guia de onda A .....	46
Tabela 5: Teste à Homogeneidade Guia de Onda A .....	47
Tabela 6: Anova one-way Guia de Onda A .....	47
Tabela 7: Teste Tukey – Guia de Onda A .....	48
Tabela 8: Análise descritiva Guia de Onda D .....	49
Tabela 9: Teste à normalidade Guia de Onda D .....	51
Tabela 10: Teste à Homogeneidade Guia de Onda D .....	51
Tabela 11: Análise de variância Guia de Onda D .....	51
Tabela 12: Tukey -Quadro comparativo das médias Guia de Onda D .....	52
Tabela 13: KMO e Bartlett's Guia de Onda D .....	54
Tabela 14: Variância total explicada Guia de Onda D .....	55
Tabela 15: Matriz após rotação na Análise Factorial .....	55
Tabela 16: Quadro de Estatísticas descritivas na guia de onda C .....	57
Tabela 17: Verificação da Homogeneidade .....	58
Tabela 18: Anova Guia de Onda C .....	58
Tabela 19: Relação Variância/teste de Tukey .....	59
Tabela 20: Teste de KOM e Bartlett's guia de onda C .....	61
Tabela 21: Análise Descritiva das portas .....	64
Tabela 22: Teste à normalidade-Planidade das portas .....	66
Tabela 23: Teste de Levene .....	66
Tabela 24: Análise de variância para a planidade das portas .....	66
Tabela 25: Teste de Tukey para a planidade das portas .....	66
Tabela 26: Matriz de correlações da planidade das portas .....	68
Tabela 27: Teste KMO e Bartlett à planidade das portas .....	70
Tabela 28: Total variância explicada nos pontos das portas .....	70
Tabela 29: Matriz Após rotação – planidade das portas .....	71

## **Índice de gráficos**

Gráfico 1: Valores das protuberâncias.....	45
Gráfico 2: Gráfico dos valores de guia de onda D .....	50
Gráfico 3: valores da planidade das portas obtidos com os comparadores.....	65
Gráfico 4: Gráfico de médias das planidades nos diferentes comparadores .....	67
Gráfico 5: Screeplot da planidade das portas.....	71

## Capítulo I – Introdução

A qualidade não tem uma definição única, existindo por isso diferentes definições do conceito propostas por vários autores. Considera-se que desde sempre existiu o conceito de qualidade, desde os tempos primitivos em que já existia a preocupação de, ao construir ferramentas, se utilizarem os materiais mais adequados para que estas conseguissem cumprir as funções para as quais eram destinadas (Pereira e Requeijo, 2008).

Hoje sabe-se a que qualidade é um factor crítico de sucesso de qualquer organização, daí a importância da gestão da qualidade, desde o início do desenvolvimento do produto até ao seu lançamento no mercado que este deve ser sujeito a elevados padrões de controlo de qualidade, com o objectivo principal de conseguir cumprir os principais requisitos do consumidor. Segundo Juran, *qualidade* não se limita apenas à qualidade metrológica mas também à durabilidade e aos custos associados (Gryna et al, 2007). O uso de ferramentas da qualidade, bem como de técnicas estatísticas, permite agilizar este controlo e acompanhamento.

A gestão da qualidade baseia-se no processo de identificar e gerir as necessidades do consumidor, não esquecendo também os objectivos da organização (Gryna et al, 2007). Surge com Feigenbaum, por volta dos anos 50, o conceito de qualidade total. Segundo Goestch e Davis (2006), apesar de não existir uma definição clara do que é a gestão pela qualidade total, existem vários aspectos que se devem ter em conta: qualidade abrange os produtos, serviços, pessoas processos e ambiente; significa alcançar/superar as expectativas dos clientes e requer mudanças constantes de melhoria e optimização dos sistemas; ou seja, qualidade é um sistema dinâmico que envolve, produtos, serviços, pessoas, processos e ambiente, com vista a alcançar ou exceder as expectativas do consumidor (Adaptado de Goestch e Davis, 2006).

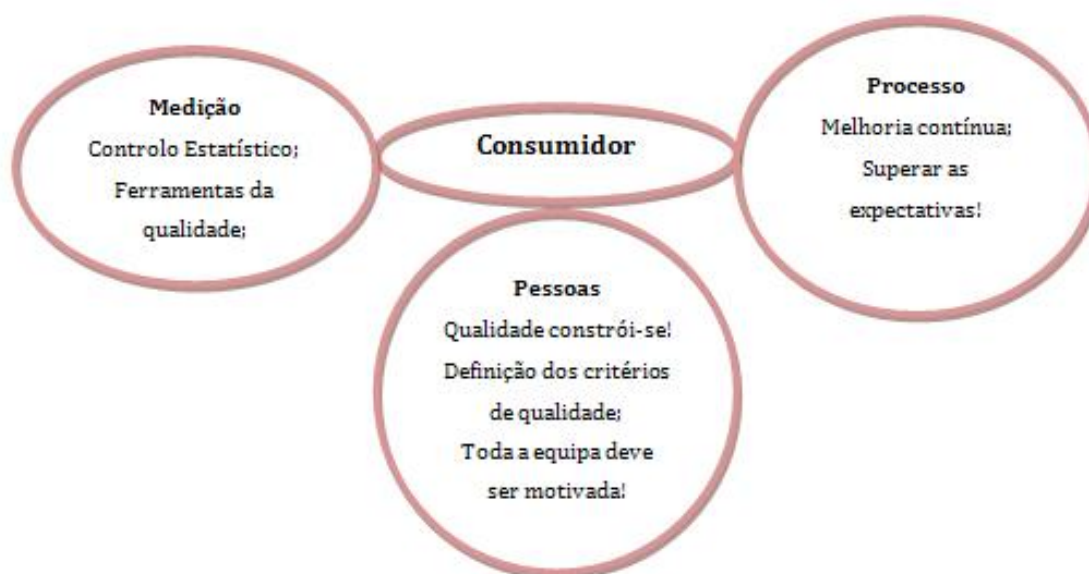


Figura 1: Conceito de qualidade total (Adaptado de Goetsch & Davis, 2006)

Com vista a alcançar o sucesso, as organizações devem implementar a gestão pela qualidade total, seguindo alguns princípios fundamentais, tais como: ter uma atitude de melhoria contínua; trabalhar como uma equipa; praticar uma gestão eficaz dos recursos humanos; ter uma atitude de prevenção; apostar em boas relações com os fornecedores, clientes e outras entidades externas; utilizar técnicas e metodologias adequadas para identificar e satisfazer todas as partes interessadas (Pereira e Requeijo, 2008). As técnicas de apoio à gestão pela qualidade total são as técnicas estatísticas, que servem de base para analisar os dados qualitativos ou quantitativos e retirar conclusões que promovam a optimização, aumento de qualidade do produto e diminuição de custos, de todo o processo de concepção e produção do produto.

Neste primeiro capítulo faz-se o enquadramento do projecto a desenvolver, apresenta-se o local onde decorreu o estágio curricular (bem como as tarefas desempenhadas durante o mesmo), definem-se os objectivos do projecto e apresenta-se a metodologia a ser seguida para os alcançar. O capítulo termina com uma breve descrição da estrutura do presente relatório.

### **I.1. Enquadramento do projecto a desenvolver**

O presente trabalho decorre no âmbito de um projecto realizado numa empresa de produção de electrodomésticos encastráveis, na sua maioria microondas. Pretende-se destacar a importância dos métodos estatísticos na gestão da qualidade (Pereira e Requeijo, 2008), recorrendo à análise de múltiplas variáveis.

No caso da produção de microondas, garantir a qualidade dos mesmos implica eliminar ou minimizar a possibilidade de fugas de radiação ou sobreaquecimento durante a sua utilização. Estas fugas, prejudiciais à saúde humana, podem ocorrer por diferentes razões, sendo uma delas, o fabrico deficiente de alguns dos componentes que constituem um microondas. As portas e as guias de onda são dois destes componentes, tendo sido sobre eles que foi efectuado o estudo para este projecto. As guias de ondas são compostas por um conjunto de peças cuja função é o transporte da energia electromagnética gerada pelo magnetron até ao interior da cavidade do microondas, onde se encontra a antena que emite essa mesma energia. Se as protuberâncias (pontos das guias de onda sujeitos a soldadura para se fundirem com a cavidade) não estiverem dentro das especificações, em vez de ocorrer fusão existe colagem das guias de onda à cavidade, o que implica eventuais fugas ou sobreaquecimento aquando do funcionamento do microondas.

Por sua vez, a porta deve funcionar como o vedante das radiações e minimizar as fugas para o exterior, de forma a que os níveis de radiação dentro dos limites estabelecidos pelas normas de segurança  $5\text{mw/cm}^2$ - IEC 335-2-25 sejam assegurados. Esta é razão pela qual a porta deve ser tão plana quanto possível para que o encosto com a frente da cavidade do microondas seja o mais uniforme possível.

Para estudar o comportamento destes componentes identificaram-se as características dos mesmos, susceptíveis de mais contribuírem para a existência de fugas: a planidade, no caso das portas e a espessura das protuberâncias, no caso das guias de onda, tendo sido efectuado um conjunto de medições dos valores das variáveis correspondentes a essas características (cotas em pontos previamente seleccionados das portas e cotas das protuberâncias). O tratamento estatístico dos dados recolhidos permitirá caracterizar o conjunto das variáveis estudadas, identificar as que são críticas e estudar a forma como estas contribuem para a



variabilidade do processo produtivo e influenciam a qualidade do produto final. A compreensão do comportamento destas variáveis permite, seguidamente, definir uma estratégia de implementação de acções correctivas e preventivas, tendo em vista a melhoria do processo de fabrico. Uma vez que se trata de um microondas novo, este estudo é bastante importante para se conseguir otimizar o controlo de qualidade perceber se devem ser implementadas alterações.

### **I.3. Local de Estágio**

A Teka Portugal faz parte do grupo multinacional de origem alemã, fundado em 1924. Actualmente tem cerca de 5000 colaboradores integrados em unidades comerciais e fabris em 15 países da Europa, Ásia e América.

O grupo Teka teve origem na Alemanha nos anos 20, onde a *joint venture* de duas conceituadas famílias industriais alemãs fundou a Teka e iniciou a fabricação de um novo produto para a cozinha: o lava-louça em aço inoxidável. Desde então, a Teka tem vindo a crescer e a tornar-se num dos líderes em tecnologia de encastré para a cozinha, não só em lava louças mas também em electrodomésticos.

Em Portugal, a empresa Comercial Anselmo Santos Lda. inicia em 1975 a distribuição exclusiva dos lava-louças em aço inoxidável produzidos em Espanha e na Alemanha, nas unidades fabris do grupo Teka.

Face ao crescimento e aceitação dos clientes, em 1978 nasce a Teka Portuguesa – Equipamentos Cozinha Lda., que devido à qualidade que os seus produtos apresentavam foi ganhando mercado e imagem de marca. Em Maio de 2004 passou a sociedade anónima com capital social de 7 milhões e 500 mil euros, estando integrada no grupo Teka Espanhol – Alemão.

Actualmente, a Teka Portugal fabrica microondas, placas de encastrar, chaminés decorativas, fornos de vapor, gavetas de aquecimento de louça, portas rebatíveis e peças metálicas. Para além da fabricação destes produtos, comercializa ainda uma vasta gama de produtos onde se incluem os produtos importados de outras fábricas do grupo Teka, nomeadamente: frigoríficos, máquinas de lavar louça, máquinas de lavar e secar roupa, fornos, lava-louças, placas exaustores, garrafeiras, grelhadores, misturadoras, trituradores, ar condicionado e equipamento para casa de banho.

Desenvolve ainda soluções técnicas na área das telecomunicações, e para a recepção e processamento de sinais de TV. A Teka Portugal S.A. é uma empresa prestigiada a nível Europeu, com sede em Ílhavo - Gafanha da Encarnação, dela fazendo parte cerca de 300 colaboradores. Apresenta uma facturação anual de aproximadamente 66 milhões de euros.

A Teka Portugal tem como principal missão satisfazer o mais possível todas as partes interessadas, como os clientes, colaboradores, sócios, comunidade e ambiente. De seguida apresenta-se o organograma da empresa:

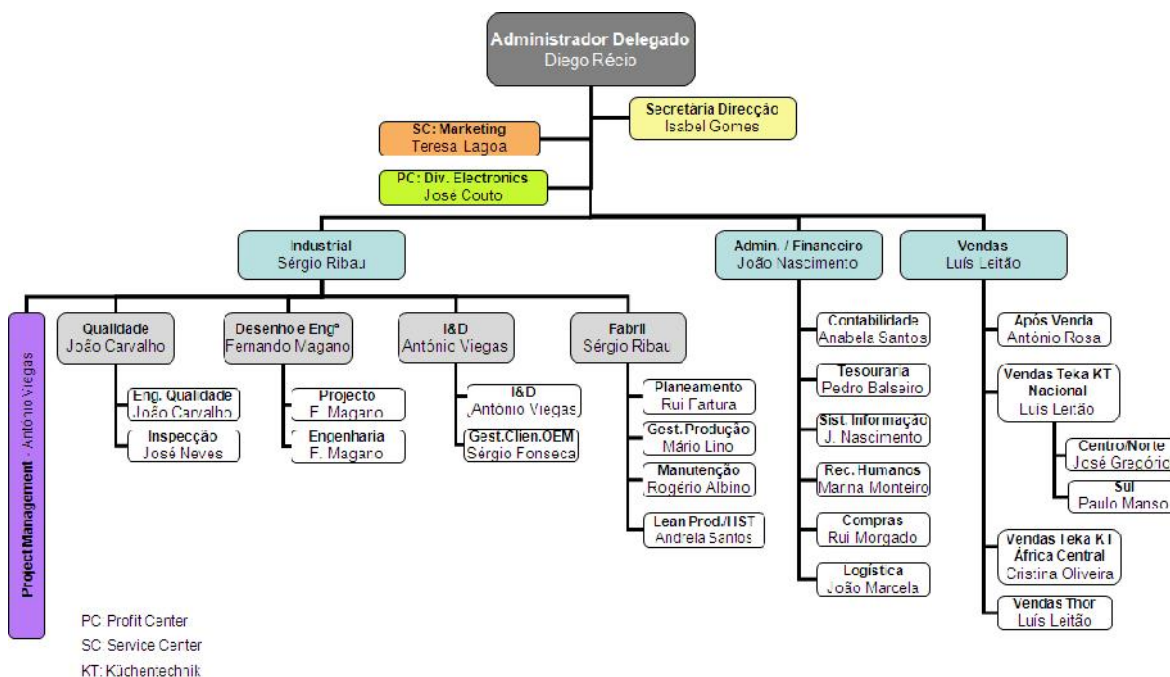


Figura 2: Organograma da empresa

A empresa é gerida na linha para atingir a sua missão. Desta forma, a política de gestão da Teka Portugal assenta em:

- Promover parcerias com os **fornecedores** de modo a assegurar fornecimentos de qualidade;
- Assegurar níveis de **produtividade com qualidade** que permitam a melhor eficiência dos custos industriais e dinamizar a **melhoria contínua**;
- Apostar no desenvolvimento profissional dos **colaboradores** e desenvolver o espírito de equipa;

- Cumprir com os **requisitos legais** inerentes à actividade e promover um ambiente de trabalho seguro e saudável;
- Satisfazer os **clientes** através dos produtos e serviços prestados, tratando as suas solicitações com rapidez e eficácia;
- Fortalecer o **desenvolvimento** de novos produtos com maior valor acrescentado;
- Garantir níveis de rentabilidade que permitam remunerar satisfatoriamente os seus **accionistas**;
- Assegurar meios de **comunicação** e divulgação simples e claros, que permitam o conhecimento e a dinamização desta política;

Durante os estágios extracurricular e curricular procedeu-se à seguinte sequência de actividades para a realização do projecto: recolha das 60 peças para a amostra das guias de onda, A, C e D; e recolha da amostra de tamanho 95 das portas.

As guias de onda foram analisadas dimensionalmente com o auxílio do equipamento de medição denominado de micrómetro e todos os dados foram sendo descarregados para o Excel, em simultâneo com a medição. Com as portas o procedimento foi o mesmo, ou seja, todas as peças foram colocadas individualmente no dispositivo elaborado para este efeito.

Em paralelo com as actividades relacionadas com este projecto, deu-se continuação ao trabalho já desenvolvido durante o estágio extracurricular que antecedeu o curricular. Continuaram-se a desempenhar as funções atribuídas, também na área da qualidade, mais concretamente na área da metrologia onde se colaborou, como actividade principal durante o estágio, em todos os processos de medição de aprovação de primeiras peças e controlo de produção. Para além destas actividades, colaborou-se também no processo de calibração de equipamentos de medição e monitorização que é actividade mensal, bem como se auxiliou o controlo estatístico de algumas peças.

#### I.4. Objectivos e Metodologia

O principal objectivo do presente trabalho consiste em identificar, num projecto novo da empresa, as variáveis críticas no conjunto de peças que vão ser analisadas, isto é, pretende-se fazer a caracterização das variáveis analisando o seu comportamento, uma vez que as peças em estudo, guias de onda e portas, são fundamentais para garantir o bom funcionamento do equipamento. Para tal define-se um método de análise das variáveis a controlar para uma correcta identificação das variáveis críticas e posteriormente fazer a sua caracterização, ou seja, verificar se é ou não possível a redução do número de variáveis a medir.

Com vista a atingir o objectivo proposto, o procedimento é delineado com base na revisão da literatura adequada, recolha dos dados e análise destes recorrendo a ferramentas estatísticas e computacionais adequadas, tais como o *Excel* e o *SPSS* (*Statistical Package for the Social Sciences*).

Numa primeira fase, os dados são tratados com base na estatística descritiva (Guimarães e Cabral, 2007), com o intuito de analisar a dispersão natural do processo em condições optimizadas de produção e avaliar a compatibilidade deste para produzir de acordo com as especificações previamente definidas. Na fase seguinte, utilizar-se-á a estatística multivariada, nomeadamente a Análise de Variância e a Análise Factorial (Pestana e Gageiro, 2008), para identificar a partir do conjunto de variáveis estudado, possíveis relações entre as mesmas.

A partir da dispersão total presente no conjunto de dados, tanto dos relativos às protuberâncias das guias de onda como dos referentes à planidade das portas, pretende-se identificar as características das peças, que eventualmente tenham causado essa dispersão, ou seja, tentar perceber que fases do processo produtivo destas peças é que contribuem para a má formação destas. Entendida a origem do problema, é factível vir a controlar apenas estas variáveis críticas que contribuem, eventualmente, para uma grande parte da variabilidade das características do produto final, optimizando o processo produtivo, uma vez que seria impensável do ponto de vista económico e temporal controlar a totalidade das variáveis.

## **I.5. Organização do Relatório**

Este relatório é constituído por quatro capítulos.

No primeiro capítulo introduz-se e enquadra-se o projecto desenvolvido, descreve-se o local de estágio, os objectivos a atingir e metodologia utilizada.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica do tema, nomeadamente aspectos gerais de qualidade e gestão da qualidade; estatística, melhoria contínua e capacidade do processo. Aqui alarga-se a revisão à análise estatística multivariada, inclusive às técnicas estatísticas utilizadas no trabalho: análise de variância e análise factorial.

No terceiro capítulo apresenta-se a descrição do projecto desenvolvido na empresa durante o período de estágio, bem como a aplicação de todas as técnicas estatísticas referenciadas no capítulo anterior. Apresenta-se ainda a análise realizada com os dados recolhidos e um resumo das principais conclusões.

No quarto capítulo apresentam-se as conclusões e sugestões de melhoria retiradas do estudo, ou seja a definição das variáveis críticas que vão ser alvo de estudo no futuro próximo.

## Capítulo II – Gestão da Qualidade: A Importância do Pensamento Estatístico

A gestão da qualidade procura maximizar os resultados das organizações por meio da satisfação de todas as partes interessadas. Ter uma estrutura organizacional voltada para os mercados, sistematizada e científica permite aumentar os lucros e a satisfação dos clientes. A estatística é extensiva praticamente a todos os processos da organização, permitindo planejar e avaliar de forma objectiva as características de um determinado produto, bem como controlar e melhorar o respectivo processo produtivo (Pereira & Requeijo, 2008).

Este capítulo divide-se em três subcapítulos. O primeiro apresenta a revisão bibliográfica dos conceitos de qualidade e qualidade total. No segundo apresenta-se o tema de estatística e melhoria contínua. Finalmente apresenta-se a revisão sobre o que é a análise multivariada, análise de variância e análise factorial (técnicas estatísticas utilizadas neste projecto).

### II.1. Qualidade e Gestão da Qualidade

A qualidade está presente em tudo o que nos rodeia, sendo um factor intrínseco à natureza humana.

Com o surgimento das primeiras fábricas, depois da revolução industrial (XVIII), a qualidade passou a ser vista como uma função da produção, em que os resultados eram reportados aos supervisores de produção. Nos finais do século XIX existiu um aumento de produtividade, e como tal, consequências negativas ao nível da qualidade. Já durante a Primeira Guerra Mundial verificaram-se falhas em produtos militares que deram origem a estudos para determinar as eventuais causas. Para estes estudos serem realizados foi necessária a criação de departamentos específicos para realizar a inspecção de qualidade surgindo, então, uma nova fase da qualidade, que ficou conhecida como *inspecção* (Pereira e Requeijo, 2008).

Mais tarde, no período entre as duas guerras, foram desenvolvidas técnicas estatísticas que permitiam realizar processos de avaliação da qualidade, bem como controlar a qualidade durante a produção e foi aqui que Shewhart teve o seu

importante contributo com as cartas de controlo. Com estas cartas era, então, possível identificar as causas comuns e especiais que influenciavam os processos de produção dos produtos. Foi com Dodge e Romig, também por volta de 1924, que foi desenvolvida a amostragem por aceitação, como alternativa à inspecção a 100%, que consistia na inspecção e classificação de uma amostra de unidades seleccionadas aleatoriamente de um lote maior. Com base nesta inspecção era depois decidido se o lote era ou não rejeitado (Pestana e Gageiro, 2008). Estas foram consideradas como as primeiras aplicações das técnicas estatísticas. Com o aumento da complexidade dos produtos a necessidade de controlo e inspecção torna-se cada vez mais pertinente, e foi então que várias empresas, nessa altura, desenvolveram um departamento de controlo de qualidade, assumindo funções como a inspecção e teste, baseadas na aplicação de técnicas estatísticas (Pestana e Gageiro, 2008).

Estudos sobre as necessidades dos consumidores, sobre o design, testes ao produto e análise de reclamações, são responsabilidades do departamento da qualidade dentro de uma organização para poder satisfazer as necessidades e requisitos dos consumidores, cada vez mais exigentes, tornando por isso a qualidade uma exigência de melhoria contínua em todas as organizações. A qualidade tem de estar necessariamente em todos os processos, incluindo os que se relacionam com o ambiente, a segurança e as condições de trabalho, uma vez que, decisivamente, contribui para o aumento da produtividade e da competitividade das organizações públicas e privadas, de grande ou pequena dimensão (Pereira & Requeijo, 2008).

A gestão da qualidade é uma prioridade para as organizações que têm de inovar, adaptando-se às constantes mudanças do mercado e desenvolvendo iniciativas com o intuito de aumentar a competitividade ao nível da concorrência, focalizando-se no cliente e diferenciando os seus produtos, imputando-lhes características únicas. Desta forma, a gestão da qualidade subdivide-se em três vertentes consideradas imprescindíveis para atingir os objectivos: qualidade na concepção, qualidade no fabrico/prestação de serviço e qualidade na utilização (Pires 2007). Aquando da concepção deve-se ter em conta as necessidades do consumidor, em termos funcionais e técnicos. No fabrico/prestação de serviço o projecto deve obedecer às especificações. A qualidade na utilização deve ser avaliada na forma

como o produto desempenha as tarefas consoante as expectativas do cliente. Assim, a qualidade é delineada por um conjunto de características técnicas e funcionais, em que as necessidades e requisitos dos consumidores são identificadas no início, antes da concepção do produto e a melhor solução vai sendo melhorada consoante a adaptação ao uso, para se conseguir passar da qualidade pretendida para a qualidade obtida, caracterizada pelo número de defeitos no produto fabricado.

Deve também estar envolvida a gestão de topo, assim como todas as pessoas implicadas no processo de fabrico e no sistema de qualidade para assim atingir os objectivos desejados (Pereira e Requeijo, 2008). Planear, controlar e melhorar são conceitos implícitos no sistema da organização. No plano de qualidade devem constar actividades como: projecto, identificação e avaliação de fornecedores, o desenvolvimento de novos produtos e processos, bem como o desenvolvimento do controlo de processos sobre todas as operações. Já no controlo de qualidade deve-se saber escolher os equipamentos de controlo adequados ao produto e ao processo, realizar medições de controlo, estabelecer parâmetros de desempenho e tomar acções correctivas. A melhoria da qualidade acompanha o plano e o controlo da qualidade porque coordena e organiza as equipas e tarefas, implementando planos e acções de melhoria. Um sistema de gestão de qualidade tem também a vantagem de, ao analisar a produtividade, calcular os custos de má qualidade, medir, analisar e reportar resultados definindo uma estratégia e plano de trabalho que optimize os resultados finais que se pretendem atingir.

Segundo Oakland e Sohal (2001), qualidade é a “excelência” de um produto ou serviço. O atendimento numa instituição pública pode ser de boa qualidade, ou se uma determinada peça de um microondas estiver dentro das dimensões pretendidas considera-se dentro dos parâmetros de qualidade exigidos. No quotidiano pode definir-se boa qualidade quando as características do produto/serviço correspondem às nossas expectativas enquanto consumidores/clientes.

Em 1987, Garvin apresenta várias dimensões para definir qualidade, ou seja, o autor defendia que os produtos para terem qualidade são submetidos a um conjunto de factores e que os mesmos devem ser analisados cautelosamente. Esses factores são: *performance* (será que o produto vai ser capaz de desempenhar as funções que se



pretende?), *confiança* (com que frequência o produto não vai ser capaz de desempenhar as funções pretendidas?), *durabilidade* (quanto é o tempo de vida do produto?), *manutenção* (qual a facilidade de reparação do produto no caso de ser necessário?), *aspectos estéticos* (esteticamente o produto satisfaz os requisitos?), *características* (quais são as funções que o produto desempenha?), *histórico do produto/empresa* (qual a reputação da empresa que fabrica/vende o produto?), *conformidade com os requisitos* (estará o produto conforme os requisitos de fabricação?) (Montgomery, 2001). Contudo, diferentes autores, pioneiros nesta temática, atribuíram à *qualidade* diferentes definições.

Juran (1904) define qualidade como a aptidão ao uso, tendo criado a trilogia da qualidade que consiste no planeamento, controlo e melhoria (figura 3):

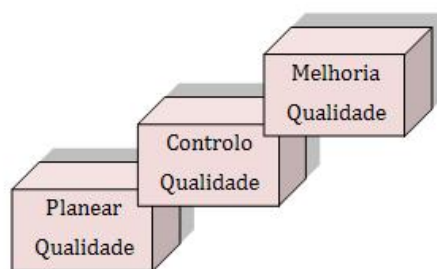


Figura 3: Trilogia da Qualidade (Adaptado de Goetsch e Davis, 2006)

Planear inclui a definição de todo o processo de preparação para alcançar os objectivos pretendidos, assim como o desenvolvimento dos produtos e identificação das expectativas do consumidor (Goetsch e Davis, 2006); o controlo é o processo de alcançar os objectivos de qualidade durante as operações, ou seja, implica a verificação do processo para ver se está a cumprir os objectivos inicialmente propostos (Goetsch e Davis, 2006); na melhoria o importante é romper o *status quo* e alcançar níveis de desempenho superiores, pela identificação de oportunidades de melhoria.

Os três processos da trilogia estão inter-relacionados, conforme se pode perceber pela análise da figura 4:

<i>Processos para a gestão da qualidade</i>		
<b>Planear</b>	<b>Controlo</b>	<b>Melhoria</b>
Definir projecto	Escolher meios de controlo	Identificar a necessidade
Identificar os consumidores	Estabelecer parâmetros de medição	Identificar projectos
Identificar as necessidades dos consumidores	Estabelecer parâmetros standards	Organizar as equipas de trabalho
Desenvolver produto	Analisar desempenho do processo produtivo	Identificar as causas
Desenvolver processo produtivo	Comparar com parâmetros standard	Implementar acções correctivas
Desenvolver controlo do processo	Actuar realizando acções correctivas se forem encontradas diferenças	Ultrapassar resistência à mudança

Figura 4: Relação dos 3 processos da trilogia para a gestão da qualidade (Adaptado de Gryna et al, 2007)

Juran defendia ainda que para esta trilogia ser bem sucedida, os líderes devem motivar as suas equipas de trabalho criando-lhes condições de trabalho propiciadoras dessa motivação (Gryna et al, 2007).

Crosby (1926-2001), defendia que a qualidade existe quando o produto se encontra segundo as especificações, («conformidade») e considerava que os custos de má qualidade devem ser evitados seguindo critérios como os zero defeitos, ou seja, não devem existir problemas com a qualidade e fazer bem à primeira é a alternativa mais económica (Gryna et al, 2007).

K. Ishikawa (1915-1989) defendia que a qualidade começa com a formação e que 95% dos problemas identificados podem ser resolvidos através de ferramentas simples de análise e mecanismos estruturados de resolução de problemas, para além

de que todos os dados que não apresentem variabilidade são dados falsos. Foi também o criador do diagrama causa-efeito, pois acreditava que são as causas principais dos problemas que devem ser removidas e não os sintomas.

Taguchi, por volta de 1950, acabou com a perspectiva tradicional da conformidade com as especificações e criou uma nova definição baseada no valor económico e redução de variação. Achava que a variabilidade é uma característica de controlo de qualidade importante. O objectivo do sistema de qualidade total deve ser o de criar um produto que seja robusto a todos os factores perturbadores que influenciem o resultado final, ou seja, as suas características funcionais não devem ser sensíveis às variações sofridas por esses factores. Desta forma, acredita-se que o controlo de qualidade deve começar na fase de projecto do produto e continuar em todas as fases seguintes, até ao seu lançamento no mercado. Resumindo, o controlo da qualidade permite reduzir os custos e a má qualidade (Gryna et al, 2007).

Durante os anos de 1950 e 1960 foram criados programas de implementação de melhoria contínua como “zero defeitos” e, mais tarde, em 1980, surgiu um programa de nome “qualidade é livre”, que consistia em gerir o trabalho e identificar os custos de qualidade e de não qualidade. Contudo, esta iniciativa não teve muito sucesso, uma vez que na altura não existiam ferramentas nem metodologias que facultassem aos analistas chegar a conclusões que lhes permitissem usar estes estudos para auxiliar a melhoria contínua (Montgomery, 2001).

A variabilidade apenas pode ser descrita em termos estatísticos, recorrendo às técnicas estatísticas. Técnicas que são fundamentais para auxiliar a melhoria contínua. As características mensuráveis num produto são, por exemplo, o comprimento ou a altura e, em todas as situações que se controlam variáveis deste género, pretende-se que estas cumpram as especificações necessárias (Montgomery, 2001).

Deming considera que qualidade é o atendimento às necessidades presentes e futuras dos consumidores, tendo sido ele que pôs em causa o mito da qualidade afirmando que a melhoria da qualidade, pode não significar aumento de custos. Criou o Modelo de Deming, no qual sublinha que a melhoria da qualidade reflecte aumento

de produtividade, redução de preços e custos, aumento dos mercados, continuação do negócio e mais empregos e melhor recuperação do investimento (Pires 2007).

O que distingue qualidade de qualidade total basicamente é a ideia de melhoria contínua. O conceito de qualidade total surgiu por volta de 1980, com Deming e Juran. As filosofias que ambos defendiam deram origem a uma série de ideias mais tarde denominadas de qualidade total. Estes autores preconizavam a qualidade como um sistema integrado na empresa, ou seja, que envolva todos os colaboradores assim com os órgãos de gestão de topo (Montgomery, 2001). Assim, enquanto a qualidade é vista como função de apenas alguns elementos e praticada pontualmente, a qualidade total é vista com uma sistema integrado e com isso consegue-se realizar a prevenção de problemas e não apenas a sua correcção. Envolvendo conceitos como: produto, aptidão ao uso, critérios de valor e orientação para o cliente. A filosofia de Deming, denominada de *Deming's Profound Knowledge System*, envolve a compreensão da variação, a teoria do conhecimento, psicologia e sistemas. Compreender a variação e as suas origens; encarar a organização como um sistema, ou um todo; saber a teoria para ficar com o conhecimento; compreender que a motivação torna as pessoas mais rentáveis e produtivas, são características que Deming considera nos catorze pontos que defendeu.

A qualidade assume, portanto, um papel cada vez mais importante no seio das organizações, com o objectivo permanente de melhorar o desempenho interno e a satisfação dos clientes. Sumariamente, sabe-se que com o aumento da competitividade e das exigências do consumidor, muitas empresas a nível internacional em meados do século passado, passaram a adoptar uma filosofia de gestão extensível a todos os processos da empresa (Pereira & Requeijo, 2008). Para além de terem uma filosofia de orientação para o cliente começaram a preocupar-se em superar as expectativas de colaboradores, fornecedores e de todos os *stakeholders*. Esta abordagem foi baseada em várias técnicas Japonesas e Americanas, uma vez que os Japoneses foram os pioneiros no desenvolvimento de técnicas de melhoria contínua, assim como os Americanos, como já foi referenciado. A esta filosofia foi então dado o nome de Gestão pela Qualidade Total, podendo ser aplicada

em qualquer tipo de organização. Segundo Pereira e Requeijo (2008) envolve princípios tais como:

- Liderança e planeamento estratégico;
- Atitude de melhoria contínua;
- Comunicação directa e clara entre a gestão de topo, gestão intermédia e demais colaboradores;
- Descentralização do poder e promoção do trabalho em equipas;
- Gestão eficaz dos recursos humanos, atitude de prevenção, utilização de técnicas e metodologias adequadas;
- Parcerias com fornecedores, clientes e outras entidades externas à organização de modo a criar ligações duradouras e de confiança;

A norma NP EN ISO 9000 estabelece os requisitos para a gestão da qualidade nas organizações, de modo a melhorar a qualidade dos seus produtos e serviços; melhorar a *performance* da organização como uma equipa, aumentando a competitividade e otimizar o processo produtivo (Goetsch e Davis, 2006). Segundo a norma NP EN ISO 9000: 2005, qualidade define-se como: um “conjunto de actividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que respeita à qualidade”.

A qualidade é um factor de sucesso para as organizações que se preocupam em obter a sua garantia, planeando e sistematizando um conjunto de actividades que proporcionem confiança adequada aos consumidores (Pereira & Requeijo, 2008).

Seguem-se os oito princípios da qualidade (ISO9000:2005):

- **Focalização no cliente** – “As organizações dependem dos seus clientes e, conseqüentemente, deverão compreender as suas necessidades, actuais e futuras, satisfazer os seus requisitos e esforçar-se por exceder as suas expectativas.” Ao apresentar uma resposta flexível e eficiente às preferências do consumidor, as organizações conseguem fidelizar os clientes e conseqüentemente aumentar o seu lucro.

- **Liderança** – “Os líderes estabelecem a direcção da organização. Devem criar e manter um ambiente interno onde as pessoas possam ser envolvidas no atingir dos objectivos da organização.” Os líderes têm o principal papel de desenvolver a missão, a visão, os valores e ética. Ao conseguir manter a equipa unida e motivada, conseguem claramente atingir os objectivos pretendidos mais facilmente e eficazmente.

**Envolvimento das pessoas** - “As pessoas, em todos os níveis, são a essência de uma organização e o seu pleno envolvimento permite que as suas aptidões sejam utilizadas em benefício da organização.”

As organizações consideradas de excelência conseguem promover o melhor das pessoas, isto é, reconhecem o seu esforço, dedicação e bom desempenho e com isto aumentam a produtividade e atingem os objectivos iniciais.

- **Abordagem por processos** – “Um resultado desejado é atingido de forma mais eficiente quando as actividades e os recursos associados são geridos como um processo.”

Se uma organização é vista como uma rede de processos, ou seja, um conjunto de actividades inter-relacionadas que transformam *inputs* em *outputs*, ao melhorar a sequência destas actividades gera-se consequentemente mais valor para a organização.

- **Abordagem da gestão como um sistema** – “Identificar, compreender e gerir processos inter-relacionados como um sistema, contribui para que a organização atinja os seus objectivos com eficácia e eficiência.”

A organização é vista como um todo, a gestão de topo deve estar envolvida no controlo de todos os processos para melhorar a eficácia e eficiência da organização.

- **Melhoria contínua** – “A melhoria contínua do desempenho global de uma organização deverá ser um objectivo permanente dessa organização.”

As oportunidades de melhoria devem ser identificadas e, ao sê-lo, devem também ser um objectivo para todos na organização.

- **Abordagem à tomada de decisão baseada em factos** – “As decisões eficazes são baseadas na análise de dados e de informações.”

A análise de dados e informações temporalmente mais antigas, com definição de acções correctivas e preventivas e identificação de oportunidades de melhoria, consequentes de auditorias externas ou internas, permite delinear estratégias de melhoria para a organização.

- **Relações mutuamente benéficas com fornecedores** – “Uma organização e os seus fornecedores são interdependentes e uma relação de benefício mútuo potencia a aptidão de ambas as partes para criar valor.”

Uma boa relação entre fornecedores e clientes é uma mais-valia, porque aumenta a capacidade de criar valor para ambas as partes e a optimização de recursos e custos.

## II.2. Estatística e Melhoria Contínua

### II.2.1. Melhoria Contínua

A melhoria contínua é fundamental para as organizações atingirem o sucesso no mercado. Uma organização deve ser vista como um todo, ou seja, como um processo, ou conjunto de processos e para tal o esforço na melhoria contínua é diário e da responsabilidade de todos. Deve-se gerir para melhorar a qualidade e identificar todas as oportunidades de melhoria inerentes aos processos.

A melhoria contínua não deixa de fazer parte do processo da organização, podendo ser contínua e/ou incremental, sendo ainda vista como um pilar fundamental da gestão pela qualidade total. Todos os factores devem ser analisados e avaliados com o intuito de remover as causas dos problemas e alcançar a estabilidade, daí ser bastante importante existir um bom sistema de recolha e análise de dados que assente num processo de melhoria contínua, baseado numa filosofia e num conjunto de ferramentas para resolver os problemas.

Para se realizar melhoria contínua da qualidade é ainda necessário que se trabalhe em equipa com um líder; que se eliminem os problemas crónicos projecto a projecto e que nos baseemos em factos conhecidos através da prévia recolha dos dados. Desta forma, deve-se procurar prevenir a recorrência dos problemas esporádicos<sup>1</sup> e eliminar as causas dos problemas crónicos<sup>2</sup>, sendo estes os grandes objectivos da melhoria da qualidade – numa óptica de que a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade (Rosa, Orey e Alvelos, 2011). As causas comuns responsáveis pelos problemas crónicos, que também podem ser designadas

---

1 Problemas esporádicos: problemas que surgem excepcionalmente. Quando surgem, as suas causas são fáceis de identificar e depois de eliminadas tudo volta à normalidade. Este tipo de problemas merece habitualmente uma grande atenção por parte dos responsáveis.

2 Problemas crónicos: Não revelam aspectos dramáticos ou urgentes pois já ocorrem há bastante tempo. Na prática não lhes é atribuída tanta prioridade como no caso dos problemas esporádicos. Uma vez que as suas causas não são totalmente conhecidas ou a sua eliminação é complexa, em geral é difícil eliminá-los.



por causas naturais ou aleatórias, são imprevisíveis e quase impossíveis de resolver. São exemplos a flutuação de corrente eléctrica ou a variação de temperatura ambiente. A sua redução só é possível através de decisões dos gestores, como a mudança de fornecedores, equipamentos ou métodos de trabalho (Pereira & Requeijo, 2008).

As causas especiais ou assinaláveis, responsáveis pelos problemas esporádicos, são casuais e quando surgem provocam variações bastante superiores às das causas comuns. São exemplos o corte de energia, aquecimento da ferramenta, equipamentos de medição fora do período de calibração, operador inexperiente, etc. Quando ocorrem exigem uma intervenção imediata por parte dos responsáveis do processo (Pereira & Requeijo, 2008).

Existem várias metodologias para a melhoria da qualidade, de entre as quais são de destacar o ciclo de Deming; programa de melhoria de Juran; 14 passos para a melhoria da qualidade – Crosby; Seis-sigma.

Em 1950, Deming deu um contributo fundamental para a implementação da prática do princípio da melhoria contínua, ao desenvolver o chamado ciclo de Deming. De acordo com o autor, “Putting out fires is not improvement. Finding a point out of control, finding the special cause and removing it is only putting the process back to where it was in the first place. It is not improvement of the process.” (Goetsch e Davis, 2006; pág: 641). Esta metodologia pode ser utilizada pelas organizações para desenvolver e implementar actividades de apoio à melhoria contínua, baseadas no planeamento, execução, verificação e actuação.

Segundo Pereira e Requeijo (2008), de uma forma sucinta podem-se caracterizar as diferentes fases deste ciclo da seguinte forma:

- **Planear:** definir o que se pretende, o horizonte temporal; delinear objectivos, estratégias e acções para atingir os objectivos pretendidos no tempo pretendido;
- **Executar:** implementar as acções necessárias para a consecução do plano.

- **Verificar:** Monitorizar, medir e analisar resultados para ver se o que foi planeado está a ser cumprido e os objectivos alcançados. Permite ainda detectar as falhas e posteriormente optimizar a estratégia.
- **Actuar:** implementar as mudanças necessárias para garantir que os resultados obtidos estão a cumprir em tempo útil os objectivos delineados.

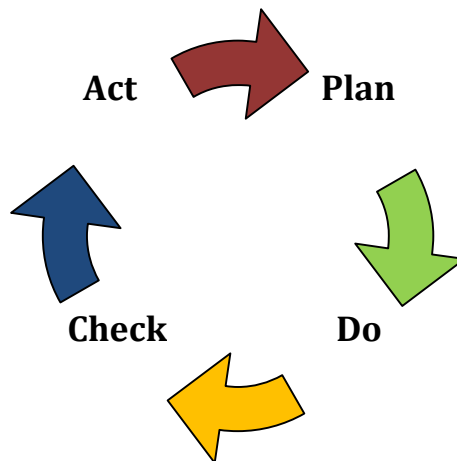


Figura 5: Ciclo PDCA de Deming

Este ciclo tem sido considerado como uma das metodologias mais importantes e mais utilizadas para a consecução da melhoria contínua nas empresas (Pereira & Requeijo, 2008). Independentemente das técnicas que se utilizem, sejam de análise ou ferramentas estatísticas, o importante é reduzir a variabilidade nos processos e nos produtos e reduzir todo o tipo de desperdícios associados à não qualidade.

### II.2.1 As sete ferramentas básicas da Qualidade

As sete ferramentas básicas da qualidade são ferramentas de elevado impacto visual. As ferramentas são de simples elaboração e têm-se revelado extremamente poderosas, uma vez que facilitam o trabalho do analista quando este se depara com muitas variáveis para analisar (Saraiva e Orey, 1999). Estas ferramentas são utilizadas para estruturar a informação recolhida na amostra em causa, ou seja, depois de recolhida a informação esta é compactada, ordenada e analisada recorrendo a estas ferramentas.

As sete ferramentas básicas da qualidade são: fluxogramas, diagrama de “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa, formulários de recolha de dados, diagrama de Pareto, histogramas, gráficos e cartas de controlo.

No âmbito deste trabalho, recorre-se aos histogramas e aos gráficos como forma de auxílio da análise descritiva das variáveis.

O histograma é um gráfico de barras que ilustra o comportamento de uma variável contínua ou discreta, ao mesmo tempo que fornece informações importantes sobre a tendência central, dispersão, simetria e localização dos valores recolhidos. Para a sua realização é necessário previamente agrupar os dados em classes devendo ter, se possível, no mínimo 50 observações para se ter uma boa aproximação da realidade (Pereira & Requeijo, 2008). Mediante os dados que são introduzidos têm-se várias interpretações; se tiverem uma tendência central ou unimodal, significa que se está perante dados provenientes da mesma população, se o histograma for assimétrico/bimodal (ou seja com vários picos), pode-se estar eventualmente a misturar valores de diferentes populações, como por exemplo: diferentes operadores. Para além disto, se existir falta de dados entre as classes isso significa que eventualmente o método de medição não é o mais adequado ou que os intervalos de medição podem ter sido mal definidos.

Os histogramas permitem analisar se o processo está a ser capaz de corresponder aos requisitos de um cliente; verificar se as mudanças existentes ao longo do tempo são significativas; e, finalmente, permitem caracterizar o tipo de curva de distribuição de probabilidade (Saraiva e Orey, 1999). Os gráficos são a forma mais simples e rápida de representar visualmente um conjunto de dados,

porque proporcionam uma interpretação rápida do seu significado. Hoje em dia, devido às ferramentas informáticas que existem, o analista consegue criar um gráfico rapidamente com a informação desejada. Pode-se representar a variação temporal de um parâmetro ou parâmetros. Para além disto os gráficos complementam ainda a informação fornecida por outras ferramentas, como por exemplo os histogramas (Saraiva e Orey, 1999).

Os gráficos mais utilizados neste projecto são os gráficos de tendência, uma vez que se pretende analisar o comportamento temporal das variáveis alvo de estudo.

### **II.3. A estatística e a análise de dados**

Durante qualquer processo de fabrico, ou até mesmo na vida quotidiana, o factor variação está presente, uma vez que não é possível criar dois produtos rigorosamente idênticos. Ainda que não exista forma de eliminar o factor variação, existe sempre a possibilidade de o analisar, identificar as suas causas, acompanhar o seu desenvolvimento e, a partir daqui, tomar acções de correcção e de prevenção. A variabilidade pode ser descrita utilizando ferramentas estatísticas. A estatística tem por um papel crucial quando se pretende implementar melhorias no processo produtivo. Através do uso da estatística pode-se concluir se os produtos estão ou não conforme as especificações (Montgomery, 2001). É aqui que a estatística se torna imprescindível, pois permite recolher, compilar, interpretar e analisar dados (Guimarães & Cabral, 1997). Desde o início do movimento da qualidade que os seus praticantes nas organizações se debateram com a importância dos métodos estatísticos (Gryna et al, 2007).

Com o crescente interesse de tornar os seus produtos cada vez mais atractivos, as organizações estão cada vez mais interessadas em adoptar um pensamento estatístico. Genericamente a estatística pode ser dividida em três níveis: estratégico, de gestão e de produção. O estratégico procura identificar as principais variações do processo, uma vez que do processo fazem parte um conjunto de actividades todas ligadas entre si pelo que, ao reduzir, a variabilidade se melhora a qualidade; ao nível da gestão tem como o principal objectivo determinar a capacidade do processo para verificar a robustez; finalmente numa fase de produção do produto, o principal

interesse é o de realizar controlo estatístico de processos, com o intuito de praticar a melhoria contínua e o otimizar o nível de produção.

A análise estatística divide-se basicamente na estatística descritiva e na inferência estatística, que diferem da seguinte maneira:

- **Estatística descritiva** - permite sintetizar e representar de forma compreensível a informação contida num conjunto de dados, através do estudo de cada variável, quer seja nominal, ordinal, de intervalo ou rácio. Abrange as estatísticas adequadas à interpretação de dados, a sua representação gráfica, a análise das não respostas e a identificação de observações aberrantes ou outliers<sup>3</sup> (Pestana & Gageiro, 2008).
- **Inferência Estatística** – com objectivo mais ambicioso, tem métodos e técnicas mais sofisticadas, para que com base na análise de um conjunto de dados (amostra) se consiga caracterizar o todo a partir do qual tais dados foram obtidos (população) (Guimarães & Cabral, 1997).

Aquando da medição, espera-se uma determinada variabilidade das características, contudo, o objectivo é que se consiga concluir se esta variabilidade afecta, ou não, o resultado final do processo produtivo. Quando se controlam características mensuráveis num produto, pretende-se sempre, como já foi mencionado, analisar se estão ou não conforme os requisitos pretendidos. Desta forma, interessa referir que se tem sempre um limite inferior e um limite superior de especificação, limites estes com os quais se comparam os valores medidos. Quando os limites não são respeitados isso significa que o produto está não conforme, ou seja, não cumpre os requisitos de qualidade necessários (Montgomery, 2001).

Os dados alvos de estudo podem ser qualitativos – expressos em escala nominal ou ordinal ou quantitativos - expressos em escala de intervalo ou absoluta.

---

<sup>3</sup>Outliers são observações que num conjunto de dados se destacam por estarem muito afastadas das restantes;

As variáveis de natureza quantitativa podem ainda ser discretas<sup>4</sup> ou contínuas<sup>5</sup>. Consoante a natureza dos dados recolhidos diferentes ferramentas estatísticas são usadas para fazer a sua análise. Nos primeiros (qualitativos), pode-se recorrer a tabela de frequências, diagrama de barras ou diagrama circulares. Nos segundos (quantitativos) recorre-se sobretudo a formas de representação tabular ou gráfica de dados, ao cálculo de estatísticas e à utilização de técnicas estatísticas inferenciais (Guimarães Cabral, 1997).

À análise da amostra deve estar associado um nível de confiança que associa à mesma um determinado grau de credibilidade, para que assim, ao recorrer à inferência estatística, seja possível deduzir a partir da análise de uma ou mais amostras, o que acontece no universo, ou seja, na população de onde foram recolhidos os dados. Nos diferentes casos em que se recorra à inferência estatística a amostra deve ser aleatória, ou seja, todos os elementos da população devem ter a mesma probabilidade de ser incluídos na amostra, porque só assim o estudo apresenta rigor. Para além disso, a selecção de cada elemento deve ser independente da selecção de todos os outros elementos da população (Pereira e Requeijo, 2008).

Estabelecido o objecto de análise e definida a população de onde se vai retirar a amostra, deve delinear-se um procedimento adequado para a selecção da mesma. Numa fase seguinte proceder-se-á à recolha dos dados, que pode ser realizada directamente pelo analista ou por terceiros. Contudo, depende sempre do analista retirar conclusões sobre a qualidade dos dados recolhidos, isto é, se existem erros que eventualmente afectem o estudo. Se tais erros forem identificados, deve equacionar a hipótese de serem eliminados ou corrigidos, com a finalidade de não afectarem o estudo. Quando concluída esta etapa, os dados são compilados, ou seja, disponibilizados em formato electrónico para posterior análise e interpretação dos mesmos, recorrendo à estatística. Deve começar-se com o cálculo de medidas de localização (tabela 1) e de dispersão (tabela 2) (Ferreira, 2010).

---

<sup>4</sup> Variável quantitativa discreta: toma apenas certos valores – números inteiros;

<sup>5</sup> Variável quantitativa contínua: assume todos os valores possíveis dentro do intervalo de valores que definem os limites da variável;

Tabela 1: Estatísticas de Localização (Adaptado de Guimarães e Cabral, 1997)

<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>
Estatística de localização mais utilizada – apresenta o valor médio da população (Ferreira, 2010)	Valor central da amostra de dados, ordenada por ordem crescente ou decrescente (Ferreira, 2010)	Indica o valor ou a gama de valores nos quais a concentração dos dados é máxima (Guimarães e Cabral, 1997)

Tabela 2: Estatísticas de dispersão (Adaptado de Guimarães e Cabral, 1997)

<b>Amplitude</b>	Diferença entre o valor máximo e mínimo da amostra.
<b>Desvio Quadrático Médio</b>	Média dos desvios dos diferentes dados em relação à média amostral.
<b>Variância</b>	Soma dos desvios quadráticos dividida pela dimensão da amostra menos uma unidade.
<b>Desvio Padrão</b>	Valor absoluto de um desvio “típico” dos dados em relação à média amostral (raiz quadrada da variância).

Por sua vez, o objectivo da inferência estatística é a estimação, com base em distribuições de frequências ou estatísticas baseadas em amostras, das distribuições de probabilidade ou parâmetros das populações respectivas. Pode-se realizar este estudo de três formas diferentes: estimação pontual, estimação por intervalo e testes de hipóteses (Ferreira, 2010).

A estimação pontual consiste em definir estatísticas cujos valores particulares constituam estimativas dos parâmetros em causa. Tais estatísticas, designadas por estimadores, são definidas a partir de diversos métodos e comparáveis com base num conjunto de propriedades desejáveis (Guimarães e Cabral, 1997).

A estimação por intervalo, ao contrário da estimação pontual, permite com base em cálculos estatísticos, construir um intervalo de confiança, que com determinada probabilidade contém o parâmetro em causa. (Guimarães e Cabral, 1997).

Os testes de hipóteses têm como objectivo fundamental verificar se os dados amostrais são ou não compatíveis com determinadas populações. Os testes de hipóteses podem ser paramétricos ou não paramétricos (Guimarães e Cabral, 1997). Os paramétricos incidem sobre parâmetros de populações com distribuições de probabilidade particulares (Ferreira, 2010). Os não-paramétricos não incidem sobre parâmetros ou não exigem distribuições de probabilidade particulares (Ferreira, 2010).

Existe um conjunto de passos que devem ser seguidos para aplicação dos testes de hipóteses: definição das hipóteses; identificação das estatísticas de teste e caracterização da sua distribuição; definição da regra de decisão, com especificação do nível de significância dos testes; cálculo da estatística de teste e tomada de decisão.

As hipóteses definem-se como nulas ou alternativas. A hipótese nula ( $H_0$ ) é a hipótese considerada sempre verdadeira ao longo do procedimento do teste até ao momento em que haja evidência estatística que aponte em sentido contrário. A hipótese alternativa ( $H_1$ ) contém sempre uma desigualdade (traduzida pelos sinais  $<$  ou  $>$  ou  $\neq$ ), mas nunca uma igualdade (sinal  $=$ ). Quando a hipótese alternativa contém uma desigualdade, do tipo  $>$  diz-se unilateral à direita; e unilateral à esquerda para o sinal  $<$ . Quando o teste apresenta um sinal  $\neq$  diz-se bilateral (Guimarães e Cabral, 1997).

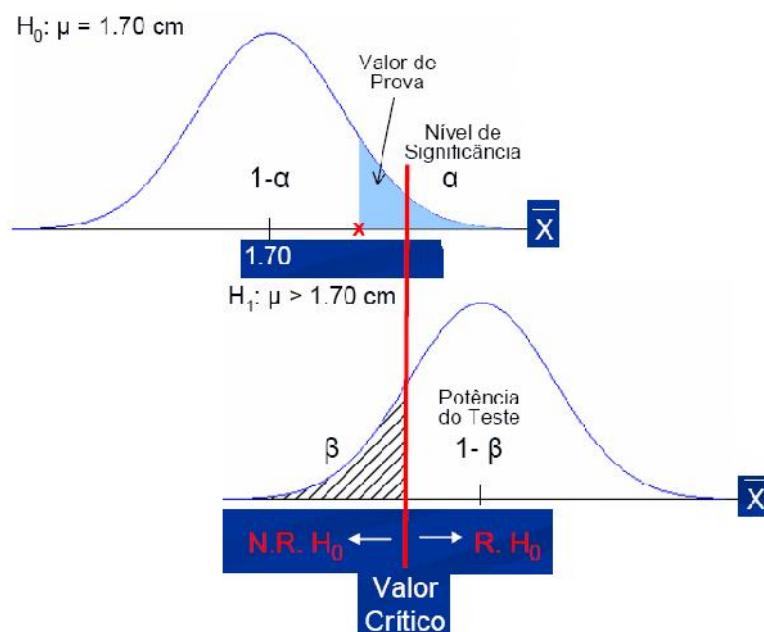


Figura 6: Exemplo de Regra de Decisão (Fonte: Ferreira, 2010)



## II.4. Capacidade do processo

Para a melhoria contínua da qualidade, a análise da capacidade do processo é bastante importante, pois permite prever se o processo é ou não capaz de produzir de acordo com as especificações estabelecidas (Pereira e Requeijo, 2008).

A capacidade do processo reflecte a uniformidade do processo; analisa e identifica as causas naturais de variação, as causas especiais de variação e também o comportamento das variáveis ao longo do processo, ou seja, a sua variabilidade (Montgomery, 2001).

A análise da capacidade do processo permite prever se este é capaz de produzir de acordo com as especificações; ajuda a seleccionar/modificar um processo ou máquina; ajuda também na selecção de fornecedores e permite reduzir a variação do processo (Pereira e Requeijo, 2008).

A capacidade do processo é avaliada através da análise dos índices de capacidade, explicados de seguida:

O  $C_p$  é o índice mais simples que se pode estudar para avaliar a capacidade do processo. Mostra a relação entre a variação natural do processo e as especificações, dada pela fórmula:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

em que a variação natural do processo é medida pelo valor 6 desvios padrão ( $\pm 3\sigma$ ). O  $C_p$  não considera a localização da média do processo relativamente aos limites superior e inferior de especificação medindo apenas a dispersão (Pereira e Requeijo, 2008). Para se ficar a conhecer a localização da média do processo em relação aos limites de especificação estuda-se o comportamento do  $C_{pk}$ , que mede a distância entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo. O  $C_{pk}$  considera a centralização do processo, ajustando o índice  $C_p$  para uma distribuição não-centrada entre os limites de especificação, uma vez que  $C_{pk}$  é sensível aos deslocamentos dos dados<sup>6</sup>:

---

<sup>6</sup>LSE – Limite Superior de Especificação; LIE- Limite Inferior de Especificação;  $\mu$ - média;  $\sigma$ - desvio padrão

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{(\mu - LIE)}{3\sigma}, \frac{(LSE - \mu)}{3\sigma} \right\}$$

Graficamente, quanto mais estreita a curva de distribuição, menor a variação e maiores os valores dos índices  $C_p$  e  $C_{pk}$ .

Avaliação da capacidade:

- Boa Capacidade:  $C_{pk} \geq 1,3$
- Capacidade Razoável:  $1 \leq C_{pk} \leq 1,3$
- Má Capacidade:  $C_{pk} \leq 1$

Quando  $C_p = C_{pk}$ , significa que o processo está centrado em relação aos limites superior e inferior de especificação. Por sua vez, se  $C_p \neq C_{pk}$  o processo não está centrado. Os processos podem estar “capazes” ou “não capazes”, em controlo ou fora de controlo, independentemente um do outro. O objectivo é que os processos estejam capazes e em controlo (Pereira e Requeijo, 2008).

## II.5. Análise Estatística Multivariada

A análise multivariada permite realizar a análise simultânea, recorrendo a um grande número de métodos e técnicas, de duas ou mais variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos, com o pressuposto de serem variáveis aleatórias e endógenas (também designadas de dependentes (Pestana e Gageiro, 2008)), entre si. Alguns autores defendem que a análise multivariada consiste em medir, explicar e prever o grau de relação entre variáveis estatísticas (Hair et al, 2009).

Este conjunto de técnicas estatísticas, que permite estudar várias variáveis ao mesmo tempo, é uma mais-valia para as organizações, pois facilita a análise e compilação das informações, agilizando a identificação de falhas e concretização de acções correctivas/preventivas. Para além disto, fica-se com um historial de todos os problemas e suas causas, minimizando as suas consequências.

Segundo Hair *et al* (2009), as variáveis estatísticas alvo de estudo são uma combinação linear de variáveis com pesos empiricamente determinados. Estas são especificadas pelo investigador, sendo que os pesos são determinados pela técnica

multivariada utilizada para atingir um objectivo específico. Hair *et al* (2009) mencionam ainda que a análise de dados envolve a identificação e a medida de variação de um conjunto de variáveis e que a classificação dos respectivos dados em qualitativos ou quantitativos é fundamental para a escolha da técnica a aplicar para realizar o estudo. Um outro aspecto bastante importante é o erro de medida cometido e a sua consequência na análise que se está a realizar; existem vários erros passíveis de acontecer, sejam de medida ou de entrada dos dados.

As técnicas estatísticas multivariadas estão sujeitas à verificação de alguns pressupostos para poderem ser aplicadas no conjunto de dados a analisar:

**Normalidade:** condição necessária, mas não suficiente (Ferreira, 2010). A forma mais simples de verificar a normalidade é através da visualização do histograma da distribuição da variável em análise. Pode-se usar também o teste de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) ou o *Shapiro-Wilks* (Hair et al, 2009). O teste K-S serve para analisar o ajustamento à normalidade da distribuição de uma variável de nível ordinal ou superior, através da comparação das frequências relativas acumuladas observadas com as frequências relativas acumuladas esperadas (Pestana e Gageiro, 2008). O teste de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) é um teste não paramétrico que analisa a qualidade de ajuste a uma distribuição teórica, ou seja, é usado para decidir se a distribuição da variável sob estudo numa determinada amostra provém de uma população com uma distribuição específica. Neste caso estamos interessados apenas em testar se a distribuição da variável é ou não normal (Maroco, 2010).

**Homogeneidade de variância (Homocedasticidade):** pressupõe a homogeneidade de variâncias e de covariâncias, implicando a avaliação individual (homocedasticidade univariada) e global (teste de *Box's M*, muito sensível à falta de normalidade dos dados) (Ferreira, 2010).

O teste de *Levene* (Levene, 1960) é um dos testes mais potentes utilizado para verificar a homogeneidade; é um teste particularmente robusto<sup>7</sup> a desvios da normalidade (o que não é o caso de outras alternativas mais conhecidas como por exemplo o teste de *Bartlett* (Maroco, 2010)).

**Independência/Linearidade/(Multi)Colinearidade:** A independência entre variáveis significa que as mesmas não se encontram associadas. Para além da avaliação por inspecção final do *scatterplot*, existem testes de hipóteses adequados às diferentes circunstâncias. Colinearidade é o grau de relacionamento linear entre duas variáveis quantitativas, traduzida pelo coeficiente de relação (coeficiente de correlação de Pearson ou teste de Dubinç-Watson). Já multicolinearidade entende-se por o grau em que uma variável quantitativa pode ser explicada por uma combinação linear das restantes variáveis quantitativas (Ferreira, 2010).

A figura 7 esquematiza o seguimento para realizar a escolha da técnica multivariada a utilizar, mediante as variáveis presentes:

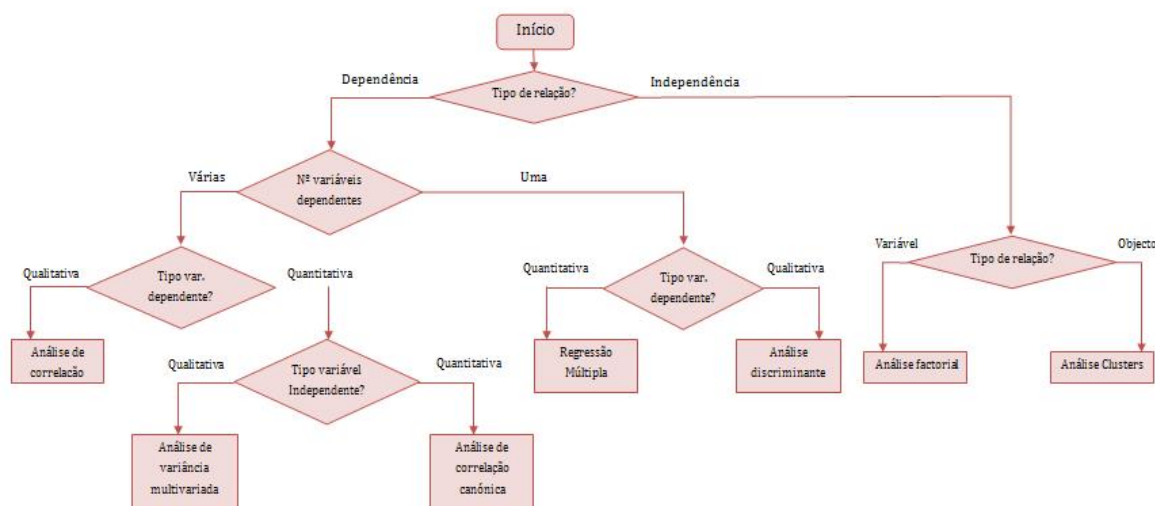


Figura 7: Árvore de decisão de técnicas estatísticas multivariadas (Adaptado de Ferreira, 2010)

<sup>7</sup>Robusto significa que a probabilidade de erro do tipo I se mantém inalterada e próxima do nível de significância  $\alpha$  fixado *à priori* e/ou a sua potência é mantida em níveis adequados, mesmo quando os seus pressupostos de aplicação não sejam válidos

Na fase de recolha de dados, deve-se ainda ter em atenção outro pormenor importante, os dados em falta. São dados que não estão disponíveis para análise e o analista tem o dever de verificar se a falta destes afecta o resultado final do estudo, uma vez que podem reduzir o tamanho da amostra. Seguidamente, apresentam-se as técnicas de estatística multivariada usadas no âmbito deste trabalho.

### **II.5.1. Análise de Variância**

A análise de variância ou Anova, do inglês *Analysis of Variance*, foi proposta por Sir Ronald Fisher em 1935. Basicamente a Anova é uma técnica de inferência estatística que permite fazer a comparação entre duas ou mais populações de onde foram extraídas as amostras aleatórias e independentes, se a distribuição da variável em estudo for Normal e se as variâncias populacionais forem homogéneas (Maroco, 2010). Recorrendo à Anova pode-se, a partir da análise da dispersão total presente num conjunto de dados, identificar os factores que deram origem a essa dispersão e avaliar a contribuição de cada um deles, dando-se o nome de análise multivariada quando se tem muitas variáveis como alvo de estudo. (Guimarães e Cabral, 1997). Aos efeitos ou condições externas que afectam os resultados de uma experiência dá-se o nome de factores (Silva, 1994).

As variáveis qualitativas são independentes, podendo ter-se uma Anova *one-way* (um factor) ou *two-way* (dois factores). Já as variáveis quantitativas são dependentes, originando uma *Anova* (uma variável) ou uma *Manova* (duas ou mais variáveis) (Ferreira, 2009).

A Anova permite comparar a variância dentro das amostras ou grupos (variância residual), com a variância entre as amostras, que devem ser escolhidas aleatoriamente, ou grupos (variância do factor ou entre grupos). Se a variância residual for significativamente inferior à variância entre os grupos ou amostras, então o efeito do factor sobre a variância da variável dependente será significativamente superior à variância natural entre os sujeitos. Nesta situação pode-se afirmar que o factor tem um efeito significativo sobre a variação da variável dependente (Maroco 2010).

Após aplicação da Anova, aplicam-se os testes *Post-hoc*. O objectivo destes é o de testar, depois da rejeição da  $H_0$  na Anova, qual ou quais os pares de médias significativamente diferentes. Entenda-se que o que se faz é comparar as respostas entre todos os pares de grupos existentes. O teste de *Tukey* é o teste *post-hoc* mais potente (segundo Pereira e Gageiro, 2008); trata-se de um teste conservativo, ou seja, é mais sensível para detectar diferenças entre os vários grupos (Pestana e Gageiro, 2008), sendo também robusto aos desvios à normalidade e homogeneidade das variâncias, condições que à semelhança da Anova são necessárias (Maroco, 2010). Contudo, quando se têm amostras de tamanho pequeno é aconselhável utilizar outro tipo de testes como o de *Scheff* ou o de *Dunnet* (Pestana e Gageiro, 2008).

Por vezes os pressupostos necessários para aplicação do estudo da Anova não são verificados, e como tal, devem-se usar técnicas estatísticas fazendo apelo a exigências mais fracas (Silva, 1994). Quando a utilização da Anova deixa de ser lógica recorre-se a testes não paramétricos para realizar as análises pretendidas.

Os testes não paramétricos são válidos para distribuições nitidamente afastadas da normalidade e quando são utilizadas amostras pequenas (Silva, 1994). Um teste não paramétrico usado em alternativa ao de *Tukey* é o de *Kruskal-Wallis* (Pestana & Gageiro, 2008). Utiliza-se para testar a igualdade de um parâmetro de localização e baseia-se na soma das ordens dos grupos combinados por ordem crescente. Caso existam observações com o mesmo valor atribui-se-lhes o valor médio, dado pela posição sequencial das observações que lhe correspondessem caso não houvesse empate (Pestana e Gageiro, 2008).

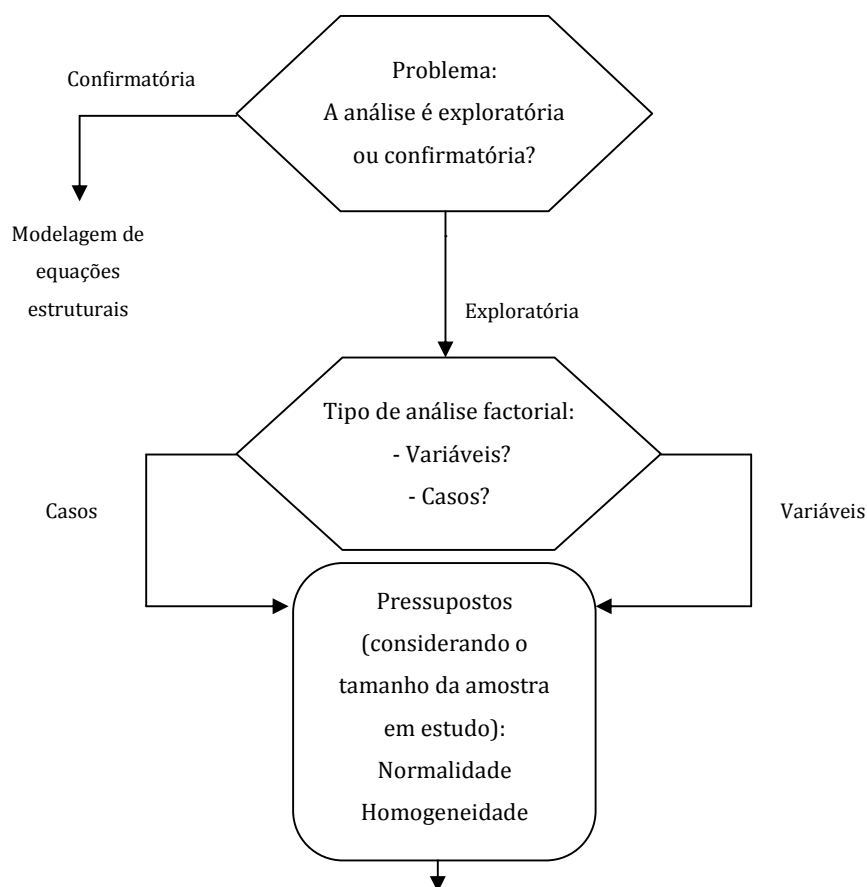
### II.5.2. Análise Factorial

Com o aumento de variáveis torna-se cada vez mais difícil a análise dos dados, pelo que se devem encontrar caminhos alternativos que simplifiquem o estudo das variáveis. Para simplificar o trabalho do analista é possível reduzir o número de variáveis observáveis e serão essas que posteriormente serão analisadas. A técnica estatística que permite a decomposição e criação de novas variáveis que resumam o conjunto de dados é denominada de análise factorial. A análise factorial (AF) é uma técnica de análise exploratória de dados que tem por objectivo descobrir e analisar a estrutura de um conjunto de variáveis inter-relacionadas de modo a construir uma escala de medida para factores intrínsecos que, de alguma forma, controlam as variáveis originais (Maroco, 2010), ou seja, procura explicar a correlação entre as variáveis observáveis, simplificando os dados através da redução do número de factores necessários para os descrever (Pestana e Gageiro, 2008). O número menor de factores criado é suficiente para explicar o que existe de comum na amostra que está a ser estudada, ou seja, através destas consegue-se explicar os respectivos acontecimentos. De certa forma a AF usa as correlações observadas entre as variáveis originais para estimar os factores comuns e as relações inter-estruturais que ligam os factores (latentes) às variáveis. De igual modo, a AF permite ainda avaliar a validade dos dados das variáveis que estão a ser estudadas, sendo que as que se devem reter são as que apresentam maior valor de correlação porque explicam melhor a variância (Pestana e Gageiro, 2008).

A AF faz uma estimativa do peso dos factores e das variâncias, de modo a que se consigam aproximar as covariâncias e as correlações o mais possível dos valores que estão a ser observados. Normalmente, o *SPSS* utiliza vários métodos de rotação para que seja possível interpretar mais facilmente os factores que descrevem as variáveis. Aquele que será usado no âmbito deste trabalho é o método *Varimax*, desenvolvido por H. Kaiser (1985), cujo objectivo é obter uma estrutura factorial na qual uma e apenas uma das variáveis originais esteja fortemente associada com um único factor e pouco associado com os restantes. Este método de rotação factorial ortogonal simplifica as colunas numa matriz factorial e é o mais popular por fornecer uma separação mais clara dos factores (Hair et al, 2009). Para além deste durante a

AF, utiliza-se também o  $KMO^8$  e o teste de *Bartlett*<sup>9</sup>, que tornam possível aferir a qualidade das correlações entre as variáveis.

De facto, a análise factorial faculta ao analista duas espécies de resultados, embora relacionados entre si: redução de dados e resumo dos dados. Resumo de dados, uma vez que cria factores que agrupam o número de variáveis mais relacionadas entre si; na redução de dados este processo é estendido para cada dimensão, ou seja para cada factor e então substituído por esse novo factor (Hair, 2009). Segue-se um resumo/esquema (figura 8) que apresenta os passos a seguir para se aplicar a análise factorial e note-se que pode ser vista numa perspectiva exploratória ou confirmatória, sendo que a confirmatória acontece quando o objectivo é testar a hipótese de existência de um determinado conjunto de factores:



<sup>8</sup> Kaiser-Meyer-Olkin estatística que varia entre zero e um, e compara as correlações de ordem zero com as correlações parciais observadas entre as variáveis (Pestana e Gageiro, 2008)

<sup>9</sup> Teste estatístico de significância geral de todas as correlações numa única matriz de correlação (Hair, 2009)



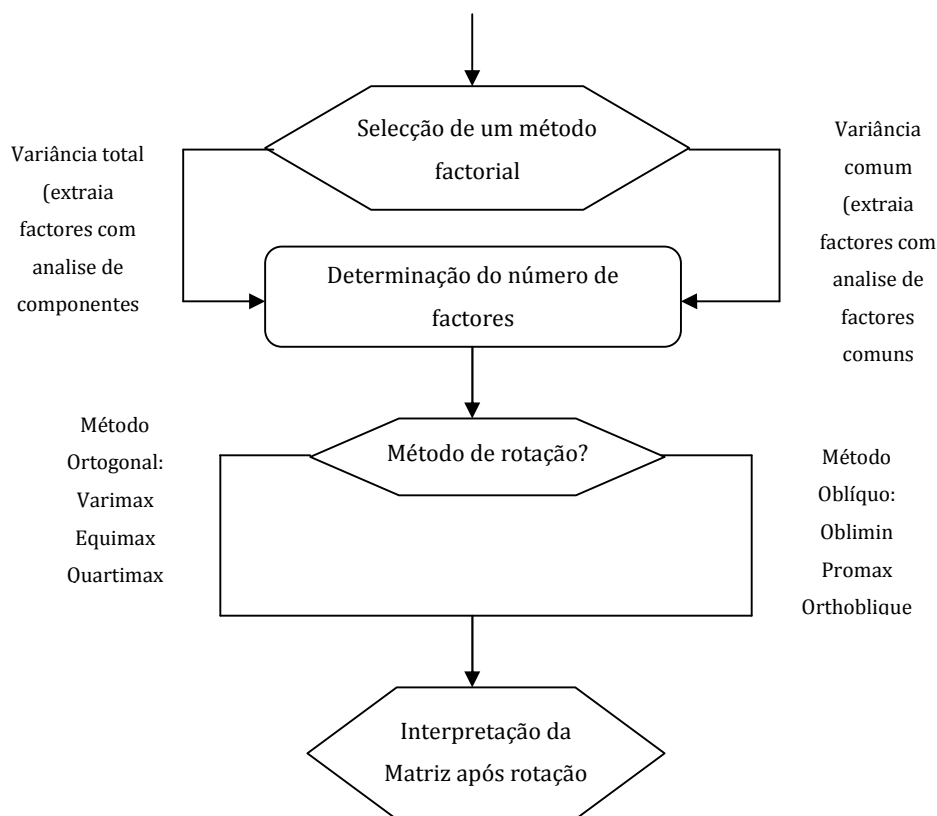


Figura 8: Diagrama de decisão da análise de factores (Adaptado de Hair, 2009)

Até esta fase do projecto, falou-se de conceitos teóricos como forma de enquadramento ao tema a ser estudado. Desta forma é importante relembrar o que se pretende com esta análise, ou seja, reduzir e explicar o número de variáveis alvo de análise com o objectivo futuro de virem ser controladas apenas as que se determinarem críticas para o processo de fabrico. Nesta fase, é também importante recordar que este projecto é novo para a empresa em questão e que por isso este primeiro estudo é fulcral para se começar a entender e a prever comportamentos. A análise de variância é utilizada para ter percepção das variáveis que apresentam médias semelhantes, uma vez que, os resultados obtidos na Anova são a criação de grupos de variáveis que apresentem esta particularidade. Com a realização da Análise Factorial pretende-se analisar, se possível, a tendência de comportamento das variáveis agrupadas nos factores criados, dado que, as variáveis agrupadas no mesmo factor podem ter comportamentos tendenciosos ao longo do processo.

No capítulo que se segue, explica-se a forma como os dados foram recolhidos e tratados assim como, os resultados obtidos as técnicas estatísticas utilizadas.

### Capítulo III - Caso de estudo

No presente capítulo descreve-se o problema em estudo explicando-se em que consiste um microondas e qual a importância do estudo destas peças, em particular, para eventualmente minimizar a existência de fugas. A análise dos dados está organizada da seguinte forma: apresentação das guias de onda A, C e D, por esta ordem. De seguida, o estudo é dividido em vários sub-capítulos. Em cada sub-capítulo são apresentados os resultados da análise de variância seguida da análise factorial realizadas. O estudo das portas é o sub-capítulo seguinte onde se apresenta novamente os resultados obtidos com a aplicação das técnicas estatísticas, análise de variância, seguida da análise factorial aos dados recolhidos.

#### III.1. Descrição do problema

O microondas foi inventado pelo engenheiro Percy Lebaron Spencer e começou a ser utilizado em 1946. O componente mais importante do microondas é o magnetron, dispositivo que utiliza a vibração de electrões para gerar um campo magnético. A radiação de microondas é um tipo de energia electromagnética situada nos 2,45GHz, aproximadamente. Esta radiação é transmitida para a cavidade do microondas através da guia de onda, reflectida pelas paredes metálicas e absorvida em parte pelas moléculas bipolares (figura 9) presentes nos alimentos.

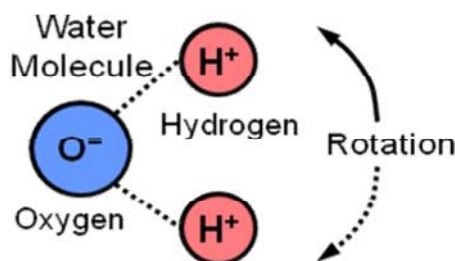


Figura 9: Representação do movimento das moléculas bipolares do microondas (Fonte: Microwave Ovens, Technical Information, Teka Portugal)

As ondas electromagnéticas atravessam vidro, cerâmica, plástico, papel e outras estruturas.

O microondas alvo de estudo é o modelo MW22, modelo novo na empresa, que tem a particularidade de não ter prato giratório. Contudo o sistema de funcionamento

é semelhante a outros modelos já produzidos em série e tal como foi analisado para modelos já existentes, neste trabalho pretende-se analisar o comportamento das características de algumas peças que constituem este electrodoméstico. O estudo das variáveis em causa permite analisar se as peças em questão estão dentro dos parâmetros de especificação aceitáveis, isto é, se estão a cumprir com as especificações que se pretendem. Se assim for, a função destas vai ser cumprida e depois do microondas terminado não vão existir fugas nem sobreaquecimento nestas peças. De facto o importante nas guias de onda é que a soldadura fique perfeita, factor que depende da espessura das protuberâncias, porque este conjunto de peças deve ser estanque para assim evitar as fugas ou o sobreaquecimento que é outra consequência motivada por deficiente contacto resultante também da má soldadura.

Como mencionado no capítulo I, as peças seleccionadas para o estudo foram as guias de onda e a porta do microondas. Apesar de não ser condição suficiente para minimizar as fugas e o sobreaquecimento, a sua correcta geometria minimiza claramente a possibilidade destas ocorrerem. Desta forma e, para que o leitor entenda de uma forma mais clara, descrevem-se alguns dos componentes do microondas, nomeadamente os que estão directamente relacionados com as peças alvo de estudo.

O microondas é composto por várias peças incluindo a carcaça (figura 10) que funciona como o “esqueleto” do equipamento onde se “encaixam” todas as restantes peças.

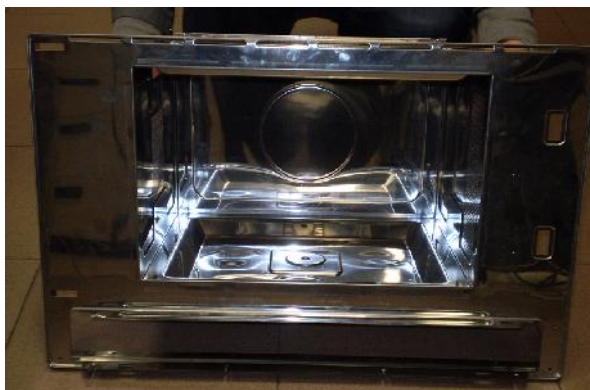


Figura 10: Carcaça do microondas

A guia de onda é a peça que transporta a energia electromagnética criada no magnetrão (figura 11) até ao interior da cavidade. No interior da cavidade encontra-se a antena que emite a energia electromagnética. Esta antena está rodeada por uma malha vedante (figura 12) que aquando do encaixe (figura 13) na guia de onda evita também a existência de fugas.

Garantir a qualidade destes electrodomésticos implica eliminar/minimizar a possibilidade de fugas de radiação durante a sua utilização, nestas e noutras peças. Estas fugas, prejudiciais à saúde humana, podem ocorrer por diferentes razões, sendo a principal o fabrico deficiente de alguns dos componentes que são alvo de estudo neste projecto, como se referiu anteriormente.



Figura 11: Magnetrão, vedante do magnetrão



Figura 12: Vedante do magnetrão

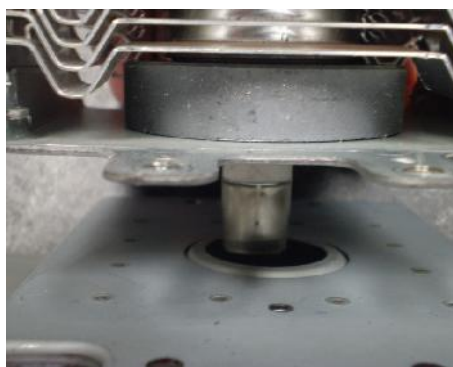


Figura 13: Processo de encaixe da antena do magnetrão na guia de onda

A guia de onda é composta por um conjunto de peças denominadas de guia de onda peça A, B, C e D, todas fixadas entre si (figura 14) através de soldadura.



Figura 14: Soldadura por fusão

Cada guia apresenta uma geometria diferente. No entanto, todas apresentam na sua configuração uma “característica” semelhante denominada de protuberância (figura 15).

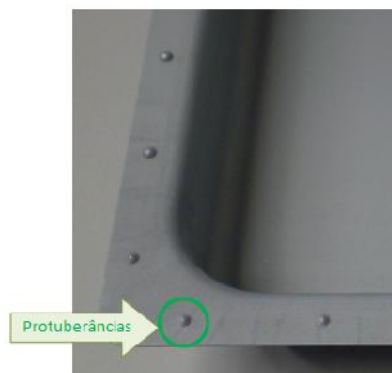


Figura 15: Exemplo de protuberância

As protuberâncias são os pontos sujeitos à soldadura (figura 16), ou seja, são estes que permitem que as peças fiquem soldadas. Por esse motivo têm de satisfazer as especificações que constam no desenho que dá origem às peças.



Figura 16: Conjunto de guias de onda após soldadura

Se estes pontos não estiverem com a medida correcta e dentro dos limites de especificação aceitáveis, o que acontece é que aquando do processo de soldadura em vez de existir fusão com a cavidade (figura 17) existe colagem dos pontos com a cavidade e, conseqüentemente, vão existir fugas de microondas ou sobreaquecimento. Eventualmente estas conseqüências apenas serão detectadas no final do processo produtivo, afectando os parâmetros de qualidade pretendidos para o microondas.

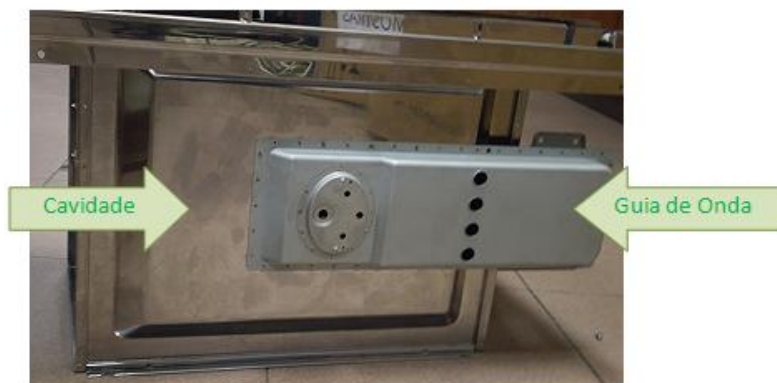


Figura 17: Cavidade onde a guia de onda se vai fundir

Para a realização do projecto de investigação descrito neste relatório, para o modelo de microondas MW22 recolheu-se uma amostra de tamanho  $N=60$  de cada guia de onda do tipo A, C e D correspondente ao microondas MW22 (figura 18). Posteriormente, recolheu-se uma amostra de 95 portas do microondas do mesmo modelo. As peças utilizadas para a amostra foram produzidas para realizar uma pré-série de 90 microondas antes de dar arranque à produção, pelo que foram retiradas

aleatoriamente do contentor onde estavam devidamente acondicionadas até ser realizada a pré-série. Um dos objectivos com a análise dos produtos resultantes da pré-série é a análise e identificação de eventuais problemas que sejam detectados para assim ser corrigidos, eliminados ou melhorados, antes de iniciar a produção. Interessa, ainda, referir que a guia de onda B visível na figura 16, diferente das que vão ser estudadas, não consta deste projecto, uma vez que é semelhante a uma já existente para outro modelo de microondas. O comportamento desta peça já é conhecido, visto que já foram realizados estudos sobre ela, facto que justifica a sua exclusão deste projecto.

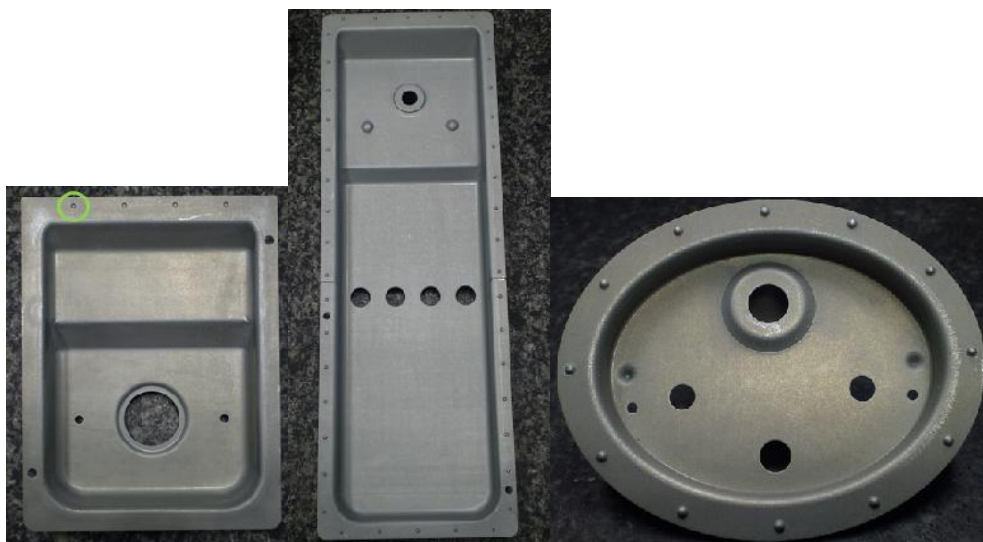


Figura 18: Guia de onda Peça A, C e D (por esta ordem)

As protuberâncias das guias de onda foram medidas com o auxílio de um equipamento de medição denominado de micrómetro, aparelho específico para medir espessuras (figura 19). Segundo a especificação nos desenhos respectivos a cada peça, a cota em questão, ou seja, a protuberância deve ter 1,3 mm de espessura com uma tolerância de  $\pm 0,10$  mm, sendo de igual dimensão nas três peças, guia de onda A, C e D.





Figura 19: Micrómetro - Equipamento de medição utilizado para as guias de onda

Todas as guias de onda foram transportadas para a metrologia, onde por sua vez foi realizada a medição de cada uma. Este processo foi moroso, porque as peças são seguradas e estabilizadas pela mão do analista, ou seja, a peça tem de ficar totalmente na vertical para o resultado ser fidedigno. Este processo foi realizado na metrologia, porque para além de ser o local onde existem todos os equipamentos de medição e monitorização, este espaço apresenta condições estáveis de temperatura ( $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) para a estabilização dos materiais.



Figura 20: Procedimento de medição

Seguidamente apresenta-se a análise dos resultados relativamente a cada guia de onda. Repare-se que nas diferentes guias de onda o objectivo principal é o de encontrar semelhanças entre as protuberâncias para diminuir o número de variáveis a controlar, ou seja, ficar com um menor número de protuberâncias para efectuar o controlo.



### III.2. Guia de onda peça A

A guia de onda peça A é composta por quatro protuberâncias na sua totalidade, conforme se vê na figura 21. Por esse motivo não se trata de uma peça muito difícil em termos de medição e controlo. Contudo futuramente o trabalho poderá tornar-se mais célere se em vez de quatro apenas se medirem duas protuberâncias (por exemplo). Esta peça passa pelos processos de estampagem e furação. A estampagem é realizada de modo automático, isto é, a máquina vai puxando o rolo de aço e as peças vão sendo estampadas em série. Como se vê assinalado na figura 21, a peça é dividida em patamares, as protuberâncias encontram-se no rebordo da peça. Finalmente depois de estampada a peça é furada.



Figura 21: Guia de onda A

#### III.2.1. Análise descritiva

Na tabela 3 apresentam-se as estatísticas de dispersão e de localização, calculadas para os dados recolhidos relativamente às 60 peças da guia de onda A.

Tabela 3: Análise descritiva guia de onda A

	1	2	3	4
N	60	60	60	60
$\bar{x}$	1,313	1,321	1,324	1,317
s	0,007	0,006	0,007	0,005
s <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000
$\Delta$	0,028	0,035	0,036	0,026
C <sub>p</sub>	5,081	5,168	4,636	6,094
C <sub>pk</sub>	4,436	4,080	3,515	5,066

Após uma primeira análise verifica-se que a variância tem aproximadamente valor zero, significando por isso que não existe muita variabilidade nos valores medidos. O desvio padrão tem valor inferior a 0,05 nas quatro protuberâncias, as maiores amplitudes são as da protuberâncias 2 e 3. A média tem o valor mais elevado na protuberância número 3. Nenhum valor médio excede os limites de especificação de 1,2 (limite inferior) e 1,4 (limite superior) respectivamente. O  $C_p$  e o  $C_{pk}$  são superiores a 1,3 o que indica que o processo é capaz.

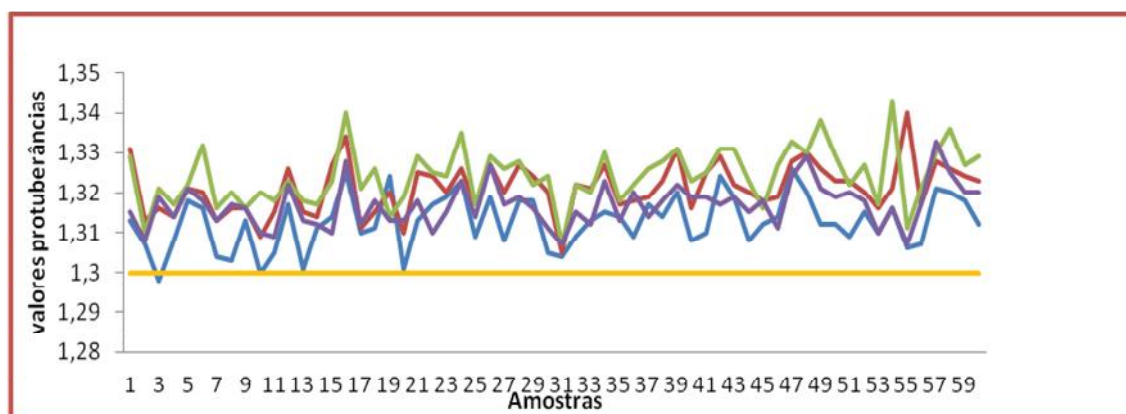


Gráfico 1: Valores das protuberâncias

Através da visualização do gráfico 1 consegue-se verificar a existência de dispersão dos valores das protuberâncias. No entanto os valores obtidos estão entre os limites definidos como tolerâncias, ou seja, entre o 1,2 mm e o 1,4 mm, apresentando-se na sua maioria acima do valor nominal (1,3 mm). A protuberância 1 (azul) apresenta os valores mais pequenos ou seja mais perto da cota nominal. Por sua vez a protuberância três (verde) é a que está mais próxima do limite superior estabelecido.

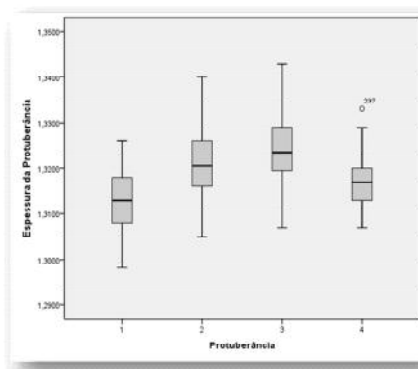


Figura 22: Boxplot Guia de onda A

Através do *boxplot* apresentado (figura 22), conclui-se que para cada protuberância os valores de espessura medidos apresentam diferentes distribuições.

A protuberância número 4 apresenta uma amplitude pequena, significando por isso pouca dispersão nos dados, ou seja, os valores apresentam semelhança entre si, o que leva a concluir que a protuberância número 4 apresenta menor variabilidade nos valores. Optou-se por colocar o *boxplot* porque é bastante claro na exposição dos dados, complementando a análise descritiva.

### III.2.2. Análise de variância

Para avaliar se existem diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios medidos nas diferentes protuberâncias recorreu-se à Anova *one-way* seguida do teste *post-hoc* de *Tukey*. Realizou-se o teste de *Tukey* por ser considerado o teste mais sensível para identificar as diferenças significativas entre as médias, e por ser o mais potente em comparação com o teste de *Scheffé* ou *Dunnett*, mais aconselháveis perante um número pequeno de comparações (Pestana e Gageiro, 2008). Para aplicar estes testes estatísticos é necessário proceder à verificação dos pressupostos teóricos da normalidade e da homogeneidade da variância.

O pressuposto da distribuição normal da variável dependente (espessura da protuberância) nos diferentes grupos de protuberâncias foi avaliado pelo teste de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk* (tabela 4).

Tabela 4: Teste à normalidade Guia de onda A

		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Espessura da Protuberância	1	,060	60	,200*	,988	60	,842
	2	,065	60	,200*	,991	60	,944
	3	,068	60	,200*	,990	60	,917
	4	,083	60	,200*	,975	60	,262

Nas quatro protuberâncias desta guia de onda A, prova-se a normalidade podendo afirmar-se que os valores das protuberâncias seguem uma distribuição normal  $p\text{-value} < 0,05$ .

Tabela 5: Teste à Homogeneidade Guia de Onda A

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Espessura da Protuberância	Based on Mean	1,483	3	236	,220
	Based on Median	1,438	3	236	,232
	Based on Median and with adjusted df	1,438	3	228,561	,232
	Based on trimmed mean	1,445	3	236	,230

O pressuposto de homogeneidade de variância (tabela 5), foi validado com o teste de Levene ( $p=0,220$ ), verificando-se a homogeneidade.

Na tabela 6, apresentam-se os resultados da Anova *one-way*. Conclui-se que existem diferenças estatisticamente significativas nas espessuras das várias protuberâncias da guia de onda peça A, uma vez que o  $p\text{ value}$  é inferior a 0,05.

Tabela 6: Anova one-way Guia de Onda A

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,005	3	,002	36,322	,000
Within Groups	,010	236	,000		
Total	,014	239			

A Anova apenas permite concluir que existem médias diferentes, mas não diz entre que protuberâncias (Maroco, 2010) assim sendo, torna-se necessário realizar testes *post-hoc*. De acordo com o teste *post-hoc* de *Tukey*, as protuberâncias manifestaram-se diferentes entre si, ou seja, todas são significativamente diferentes (ver anexo 1).

O processo é capaz, como se viu com o resultado dos valores de  $C_p$  calculados, apesar de existirem diferenças entre as médias das protuberâncias. As espessuras das

protuberâncias apesar de apresentarem variação ligeira situam-se entre o limite superior e inferior de especificação, sendo por isso aceitável.

Tabela 7: Teste Tukey – Guia de Onda A

Prot	N	1	2	3	4
1	60	1,312700			
4	60		1,316867		
2	60			1,321050	
3	60				1,324233
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Na tabela 7 tem-se a comparação das médias segundo o teste de *Tukey*. Os valores apresentados levam a concluir que as médias das 4 protuberâncias são estatisticamente diferentes. Desta forma conclui-se que no futuro as 4 protuberâncias desta guia de onda têm de ser medidas.

A explicação para a variabilidade dos dados está na geometria da peça. Esta peça apresenta vários patamares ou zonas de estampagem, ou seja, tem uma geometria com formas muito agressivas, o que faz com que a peça dependendo do tipo de aço, possa ficar com irregularidades na zona de bordo onde estão localizadas as protuberâncias. Esta zona está sujeita a maiores assimetrias que justificam as diferenças estatísticas verificadas com a análise realizada.

De facto nesta peça não existe possibilidade de reduzir o número de variáveis a medir, uma vez que elas são estatisticamente diferentes. Como esta peça apenas têm 4 protuberâncias na sua constituição, a medição é viável.

### III.3. Guia de onda D

A guia de onda peça D, figura 23, é composta por 12 protuberâncias, sendo que a sua análise dimensional torna-se mais complexa e morosa. Esta guia de onda é soldada à guia de onda peça C. Esta peça é produzida de forma diferente da guia de onda A. É sujeita a estampagem para criar o bordo e depois a contra-estampagem para fazer o bordo mais pequeno assinalado a cor laranja na figura 23. As protuberâncias são estampadas por último e posteriormente ainda é feita a furação.

A protuberância assinalada a verde na figura 23, considera-se a número 1 e a medição foi realizada no sentido dos ponteiros do relógio.

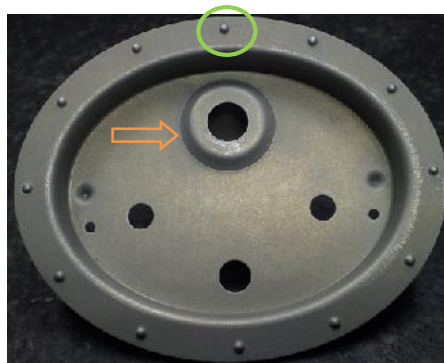


Figura 23: Guia de onda peça D

### III.3.1. Análise descritiva

A análise estatística realizada apresenta-se na tabela 8:

Tabela 8: Análise descritiva Guia de Onda D

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
$\bar{x}$	1,195	1,226	1,215	1,219	1,219	1,219	1,212	1,218	1,217	1,220	1,221	1,217
s	0,010	0,009	0,010	0,009	0,016	0,006	0,009	0,007	0,007	0,009	0,008	0,011
s <sup>2</sup>	0,00009	0,000081	0,00009	0,00009	0,00026	0,00004	0,00008	0,00005	0,00005	0,00007	0,00006	0,00012
$\Delta$	0,053	0,056	0,053	0,054	0,131	0,029	0,053	0,029	0,029	0,046	0,038	0,077
C <sub>p</sub>	3,4756	3,8164	3,4295	3,5339	2,0706	5,4575	3,6395	4,9549	4,7763	3,8580	4,1850	3,0173
C <sub>pk</sub>	-0,1581	1,0101	0,5196	0,6832	0,3900	1,0360	0,4483	0,8811	0,8287	0,7780	0,8712	0,5220

Através da análise da tabela 8 de valores conclui-se que a variância das espessuras das doze protuberâncias se aproxima do valor zero, tendo o desvio padrão um valor inferior a 0,05 em todas as protuberâncias. Relativamente às amplitudes, a maior amplitude existe na protuberância número 5 e as protuberâncias com menor amplitude são a 6, a 8 e a 9. Todas as outras têm valores de amplitude aproximados. Relativamente aos valores de índice  $C_p$  são superiores a 1,3 mas os valores de índice  $C_{pk}$  são inferiores a 1,3, o que significa o descentramento em relação à média, ou seja, podem estar a ser produzidas peças fora dos limites de especificação.

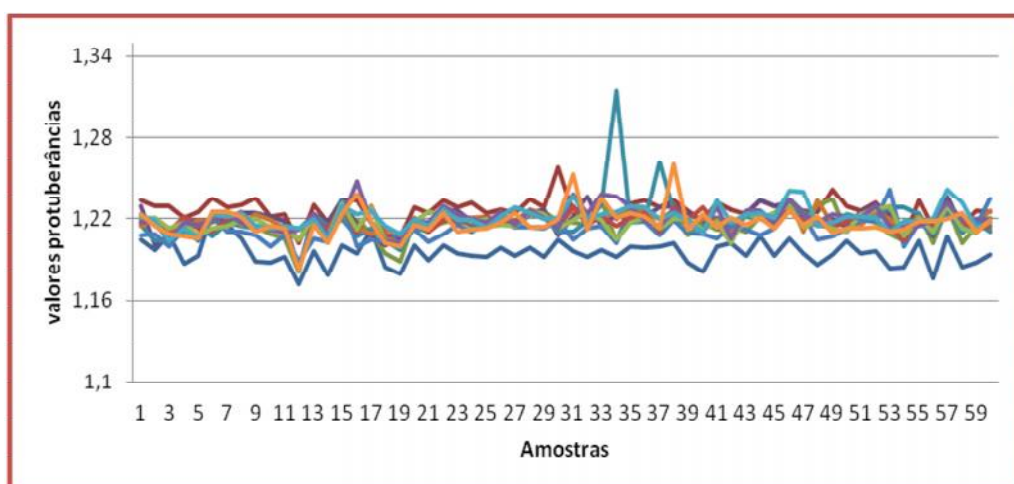


Gráfico 2: Gráfico dos valores de guia de onda D

No gráfico 2, consegue-se ver nitidamente o destaque do ponto número 5. Existem muitos valores que se encontram abaixo do valor mínimo de especificação de 1,2 mm.

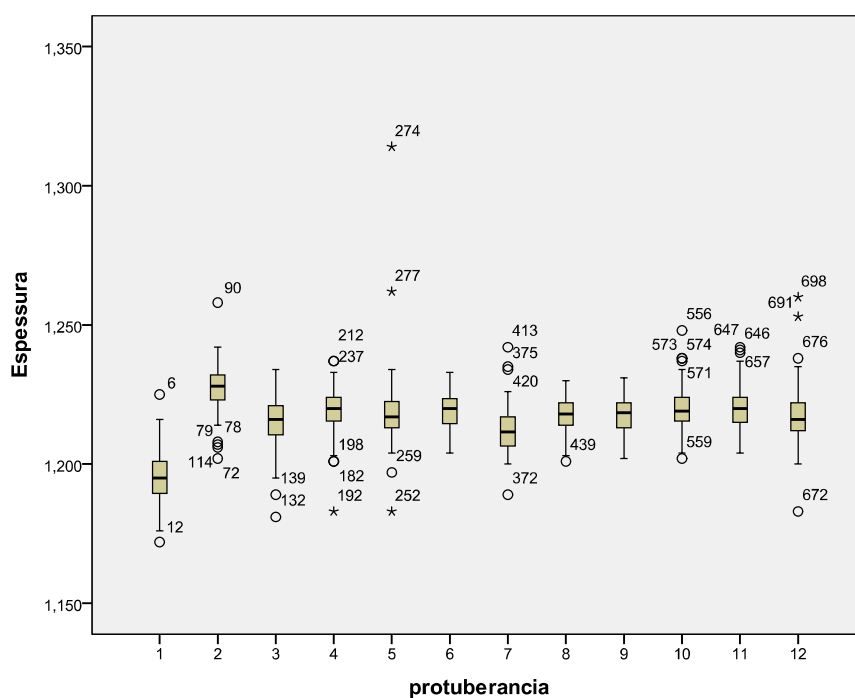


Figura 24: Boxplot guia de onda D

No *boxplot* (figura 24), existem 6 outliers severos assinalados com asterisco e os restantes considerados moderados, isto é, existem seis protuberâncias com valores que se destacam dos restantes: as protuberâncias número 4 (peça 12), 5 (peças 12, 34 e 37) e 12 (peças 29 e 32). As protuberâncias números 1, 3 e 12 apresentam maior dispersão dos dados do que as restantes, sendo que a seis e a nove não apresentam

nenhum *outlier* e a dispersão também é menor. A maior parte dos valores medidos encontram-se acima do limite de especificação inferior de 1,2 mm.

### III.3.2 Análise de variância

Tabela 9: Teste à normalidade Guia de Onda D

		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Espessura	1	,093	60	,200*	,986	60	,737
	2	,144	60	,003	,913	60	,000
	3	,103	60	,182	,950	60	,016
	4	,136	60	,008	,939	60	,005
	5	,231	60	,000	,649	60	,000
	6	,083	60	,200*	,987	60	,751
	7	,104	60	,174	,956	60	,030
	8	,072	60	,200*	,976	60	,293
	9	,093	60	,200*	,979	60	,370
	10	,121	60	,028	,964	60	,072
	11	,128	60	,016	,960	60	,047
	12	,160	60	,001	,862	60	,000

Com o teste à normalidade na tabela 9, sabe-se que as distribuições das espessuras observadas nas protuberâncias 2, 4, 5, 10, 11 e 12 não apresentam normalidade. As restantes protuberâncias seguem uma distribuição normal.

Tabela 10: Teste à Homogeneidade Guia de Onda D

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,256	11	708	,246

A homogeneidade foi também verificada (*p-value* 0,246) (tabela 10).

Tabela 11: Análise de variância Guia de Onda D



	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,037	11	,003	37,132	,000
Within Groups	,064	708	,000		
Total	,101	719			

Aplicando o teste da Anova sabe-se que existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos de protuberâncias ( $p=0,000$ ) (ver anexo 2).

De facto, os valores das médias das protuberâncias não são semelhantes e nem todas apresentam normalidade, apesar desta particularidade não ser impeditiva, uma vez que é possível relaxar a normalidade. Esta uma possível justificação para o baixo valor de capacidade do processo.

Tabela 12: Tukey -Quadro comparativo das médias Guia de Onda D

Protuberância	N	1	2	3	4
1	60	1,19545			
7	60		1,21232		
3	60		1,21515	1,21515	
12	60		1,21730	1,21730	
9	60		1,21735	1,21735	
8	60		1,21778	1,21778	
5	60			1,21883	
6	60			1,21898	
4	60			1,21933	
10	60			1,22017	
11	60			1,22082	1,22082
2	60				1,22647
Sig.		1,000	,074	,053	,054

A tabela 12 apresenta o quadro comparativo das médias resultantes do teste de *Tukey*. A protuberância 1 não se assemelha a nenhuma outra, por isso forma um grupo isolado, grupo 1. As protuberâncias 7, 3, 12, 9 e 8 têm médias que não são diferentes do ponto de vista estatístico e, por isso, fazem parte do mesmo grupo, assim como as protuberâncias 3, 12, 9, 8, 5, 6, 4, 10 e 11 que formam o grupo 3 e número 11 com a número 2 que formam o grupo 4. Repare-se nos valores médios

obtidos, ao arredondar para 2 casas decimais, têm-se valores em todas as protuberâncias de 1,22 mm aproximadamente, o que significa que as mesmas estão próximas do valor mínimo de especificação.

Contudo em relação a algumas protuberâncias o resultado é pouco conclusivo, uma vez que a mesma protuberância pode pertencer a grupos diferentes como é o caso da protuberância 8, por exemplo.

De facto, teoricamente, a protuberância 1 tem de ser medida porque não se assemelha a nenhuma outra. Em relação aos restantes grupos, considerando os valores da variâncias obtidos na análise descritiva pode-se seleccionar aquelas que apresentem maior valor, porque significa que apresentam maior variabilidade e serão essas que de futuro devem ser medidas. Desta forma, no grupo 2 pode-se escolher a protuberância número 12 e, no grupo 3, escolhemos a protuberância número 5. Finalmente no grupo 4, deve ser medida a protuberância número 2.

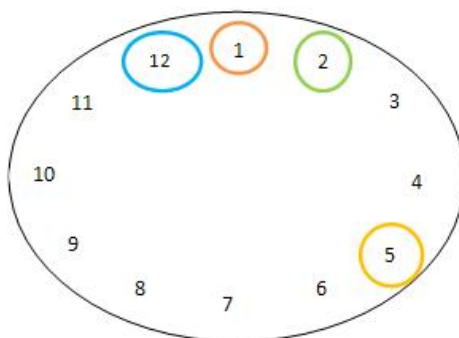


Figura 25: Protuberâncias a medir de futuro

Com a análise de variância consegue-se reduzir o número de variáveis de 12 para 4, ou seja, as protuberâncias que devem ser medidas de futuro são a 1, 2, 5 e 12.

A justificação está novamente na geometria da peça. Devido à sua forma oval durante o processo de estampagem as forças não se distribuem uniformemente. Como a peça é sujeita a contra-estampagem para fazer o furo junto das protuberâncias 1, 2 e 12, estas apresentam maior variabilidade nos seus resultados.

Apresenta-se agora os resultados da análise factorial. A análise factorial foi realizada para complementar a análise de variância. Uma vez que esta análise cria

factores que agrupam os valores das protuberâncias semelhantes pode-se depreender quais as que têm tendência para comportamentos semelhantes e desta forma conseguir relacionar estes grupos com características de produção.

### III.3.3. Análise factorial

De seguida, apresenta-se a análise factorial para a guia de onda peça D. Repare-se que este estudo não se realizou para a guia de onda peça A, por esta ser constituída apenas por quatro variáveis, ou seja, não faz sentido estar-se a criar um factor para interpretar o comportamento geral de apenas 4 variáveis.

O objectivo da análise factorial é criar uma ou mais factores que consigam resumir o comportamento de todas as variáveis existentes, complementando o estudo anteriormente realizado com a análise de variância.

Os coeficientes de correlação de *Pearson* entre as variáveis são apresentados no anexo 3. Através deles, consegue-se ver quais as protuberâncias que têm correlações fortes ( $p > 0,5$ ) ou fracas entre si. Observam-se correlações fortes da protuberância 1 com a 2, da 2 com a 3; da 3 com a 4, 6, 8, 9 e 12; da 4 com a 6, 8 e 9; da 6 com a 8 e 9 e 10; da 8 a 9 e a 11; da 10 com a 11 e 12 e finalmente da 11 com a 12. Tal como se tinha observado na *Anova* também na AF se detecta que a protuberância 1 não está relacionada com nenhuma outra.

Tabela 13: KMO e Bartlett Guia de Onda D

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	,824
Bartlett's Approx. Chi-Square	378,637
Test of Df	66
Sphericity Sig.	,000

Com o KMO=0,824 (tabela 13) a recomendação face a AF é boa, ou seja, existe uma boa relação entre as variáveis estudadas (Pestana e Gageiro, 2008) existindo correlação entre as variáveis. O teste de esfericidade de *Bartlett* apresenta um  $p$ -value  $< 0,001$  pelo que se conclui que as variáveis estão correlacionadas significativamente (Maroco, 2010) e que se pode realmente utilizar a AF (Pestana e Gageiro, 2008).

Tabela 14: Variância total explicada Guia de Onda D

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared			Rotation Sums of Squared		
				Loadings			Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,690	47,417	47,417	5,690	47,417	47,417	3,236	26,963	26,963
2	1,286	10,715	58,132	1,286	10,715	58,132	2,475	20,623	47,586
3	1,167	9,724	67,857	1,167	9,724	67,857	2,433	20,271	67,857
4	,945	7,872	75,729						
5	,714	5,954	81,683						
6	,562	4,685	86,367						
7	,453	3,778	90,145						
8	,328	2,731	92,877						
9	,267	2,222	95,099						
10	,241	2,006	97,104						
11	,193	1,609	98,713						
12	,154	1,287	100,000						

Na tabela 14 são apresentados os valores próprios para cada factor, de acordo com a regra da retenção dos factores com valores próprios superiores a um, foram retidos 3 factores que explicam cerca de 67,857% da variabilidade total.

Tabela 15: Matriz após rotação na análise factorial

	Factor		
	1	2	3
prot1	,156	,823	,123
prot2	,314	,815	,054
prot3	,538	,640	,241
prot4	,710	,201	,375
prot5	,122	-,148	,736
prot6	,679	,197	,448
prot7	,698	,171	-,020
prot8	,707	,236	,334
prot9	,864	,183	,095
prot10	,188	,290	,793
prot11	,238	,355	,629
prot12	,136	,543	,571

A rotação *varimax* (tabela 15) leva a uma maior definição dos factores. Foram criados 3 factores que explicam os valores das protuberâncias, ou seja, significa que podemos agrupar todas as protuberâncias em 3 factores, por estarem fortemente correlacionadas. O primeiro factor inclui as protuberâncias: 4, 6, 7, 8 e 9. O factor 2 inclui as protuberâncias: 1, 2 e 3. O factor 3 inclui as protuberâncias: 5, 10, 11 e 12.

Desta forma, sabe-se que as protuberâncias agrupadas nos 3 factores têm comportamentos semelhantes e possivelmente tendenciosos durante o processo de fabrico. Idealmente para ser possível verificar se esta tendência ocorre ao longo da produção em série necessário repetir estas análises já durante este processo.

#### III.4. Guia de onda peça C

De seguida, apresenta-se o estudo da Guia de Onda peça C. Esta guia de onda é a mais complexa em termos de número de protuberâncias, sendo constituída por 42 protuberâncias conforme se vê na figura 26. Esta peça apresenta uma geometria também complicada em termos de estampagem por ser uma peça comprida. Apresenta vários patamares de estampagem assinalados a cor laranja na figura 26.

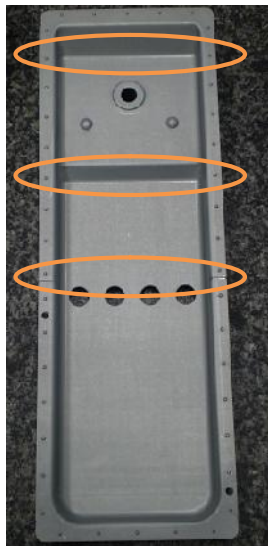


Figura 26: Guia de onda peça C

### III.4.1. Análise descritiva:

Na análise descritiva, apresenta-se apenas a tabela 16, uma vez, que devido ao número elevado de protuberâncias, o gráfico e o boxplot suscitem dúvidas face a sua interpretação visual.

Tabela 16: quadro de estatísticas descritivas da guia de onda C

	N	$\bar{x}$	S	$s^2$	$\Delta$	$C_p$	$C_{pk}$
1	60	1,303	0,004	0,0000	0,02	7,854	7,584
2	60	1,303	0,007	0,0003	0,062	4,583	4,439
3	60	1,260	0,011	0,0001	0,056	3,055	1,834
4	60	1,292	0,011	0,0001	0,053	2,908	2,677
5	60	1,280	0,010	0,0001	0,062	3,245	2,601
6	60	1,323	0,021	0,0004	0,155	1,566	1,096
7	60	1,315	0,013	0,0001	0,096	2,522	2,138
8	60	1,314	0,001	0,0099	0,043	3,337	2,857
9	60	1,263	0,001	0,0091	0,049	3,647	2,304
10	60	1,261	0,006	0,0059	0,036	5,565	3,377
11	60	1,323	0,010	0,0001	0,069	3,302	0,022
12	60	1,287	0,017	0,0002	0,15	1,973	1,715
13	60	1,271	0,016	0,0002	0,114	2,027	1,449
14	60	1,242	0,020	0,0004	0,154	1,666	0,702
15	60	1,367	0,014	0,0002	0,109	2,420	0,793
16	60	1,392	0,010	0,0001	0,064	3,323	0,261
17	60	1,366	0,014	0,0002	0,082	2,329	0,786
18	60	1,385	0,012	0,0001	0,091	2,725	0,397
19	60	1,423	0,001	0,0001	0,056	3,355	-0,785
20	60	1,431	0,009	0,0005	0,05	3,828	-1,512
21	60	1,440	0,012	0,0001	0,064	2,688	-1,088
22	60	1,413	0,017	0,0003	0,086	1,877	-0,239
23	60	1,384	0,020	0,0004	0,082	1,651	0,263
24	60	1,428	0,019	0,0004	0,114	1,752	-0,499
25	60	1,385	0,021	0,0005	0,095	1,572	0,230
26	60	1,446	0,018	0,0003	0,091	1,865	-0,854
27	60	1,429	0,012	0,0001	0,077	2,712	-0,786
28	60	1,389	0,023	0,0005	0,093	1,444	0,159
29	60	1,411	0,017	0,0003	0,115	1,948	-0,213
30	60	1,409	0,010	0,0001	0,077	3,245	-0,281
31	60	1,374	0,017	0,0002	0,105	1,974	0,520
32	60	1,342	0,022	0,0005	0,147	1,507	0,871
33	60	1,342	0,016	0,0003	0,096	2,063	1,185
34	60	1,271	0,018	0,0003	0,122	1,852	1,311
35	60	1,235	0,012	0,0002	0,056	2,643	0,938
36	60	1,319	0,015	0,0002	0,115	2,215	1,784
37	60	1,268	0,026	0,0007	0,133	1,288	0,880
38	60	1,323	0,018	0,0003	0,129	1,893	1,460
39	60	1,266	0,017	0,0003	0,066	1,929	1,268
40	60	1,305	0,021	0,0004	0,087	1,616	1,541
41	60	1,281	0,021	0,0005	0,117	1,555	1,259
42	60	1,272	0,023	0,0005	0,176	1,416	1,029

Através da análise da tabela 16 depreende-se o seguinte: as protuberâncias com a média, o desvio-padrão, variância, amplitude,  $C_p$  e  $C_{pk}$  mais altos são a 26, 37, 37,

42, e a 1 respectivamente. As que têm os valores mais baixos são: a 35, 37 e a 20.

Os valores de  $c_p$  e  $c_{pk}$  não têm o mesmo comportamento em todas as protuberâncias pelo que tudo indica que o processo não é capaz, significando também que está descentrado em relação à média. Algumas protuberâncias têm valores de  $C_p$  superiores a 1,3 o mesmo não acontece para valores de  $C_{pk}$  o que significa que os valores das protuberâncias estão fora dos limites de especificação.

Realizou-se o teste à normalidade (anexo 4) e para as protuberâncias 3, 10, 20 e 21 o valor de prova  $p > 0,05$ , pelo que a normalidade é provada.

Para todas as outras protuberâncias a normalidade não é verificada com  $p\text{-value} < 0,05$ . No entanto, os testes apresentados são robustos à violação do pressuposto da normalidade, uma vez que a dimensão da amostra não é pequena (Maroco, 2010).

Tabela 17: Verificação da homogeneidade

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Based on Mean	6,148	41	2478	,000
Based on Median	3,887	41	2478	,000
Based on Median and with adjusted df	3,887	41	1609,475	,000
Based on trimmed mean	5,166	41	2478	,000

A tabela 17 apresenta um  $p\text{-value} < 0,05$ , pelo que a homogeneidade das variâncias entre as várias protuberâncias não se verifica.

Contudo, apesar de estes pressupostos não serem verificados, pode-se aplicar a Anova, relaxando a igualdade das homogeneidades, uma vez que, se está perante amostras de dimensão igual.

Tabela 18: Anova da Guia de onda C

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9,872	41	,241	944,750	,000
Within Groups	,632	2478	,000		
Total	10,503	2519			

O teste da Anova afere que existem grupos de protuberâncias que apresentam espessuras significativamente diferentes ( $p=0,000 < \alpha=0.05$ ).

Com o teste de *Tukey* (anexo 5) os grupos formados pelas protuberâncias indicam que as suas médias apresentam semelhanças. No entanto existem várias protuberâncias que se distribuem por vários grupos distintos, o que torna a informação pouco conclusiva.

De futuro interessa controlar as protuberâncias que apresentem maior variabilidade, pois serão estas que afectam o processo com maior relevância, uma vez que as restantes têm menor probabilidade de afectar negativamente a capacidade do processo. Desta forma ao comparar a análise descritiva realizada com o quadro de comparação de médias de *Tukey* no anexo 5, conclui-se o seguinte: são formados 21 grupos que agrupam as protuberâncias com médias semelhantes. Em cada grupo as que apresentam maior valor de variância são (tabela 19):

Tabela 19: Relação variância/teste de Tukey

Grupo	Protuberância
1	14
2	9
3	10
4	37
5	41
6	12
7	4
8	2
9	8
10	40
11	38
12	6
13	32
14	31
15	23
16	28
17	22
18	19
19	24
20	20
21	26



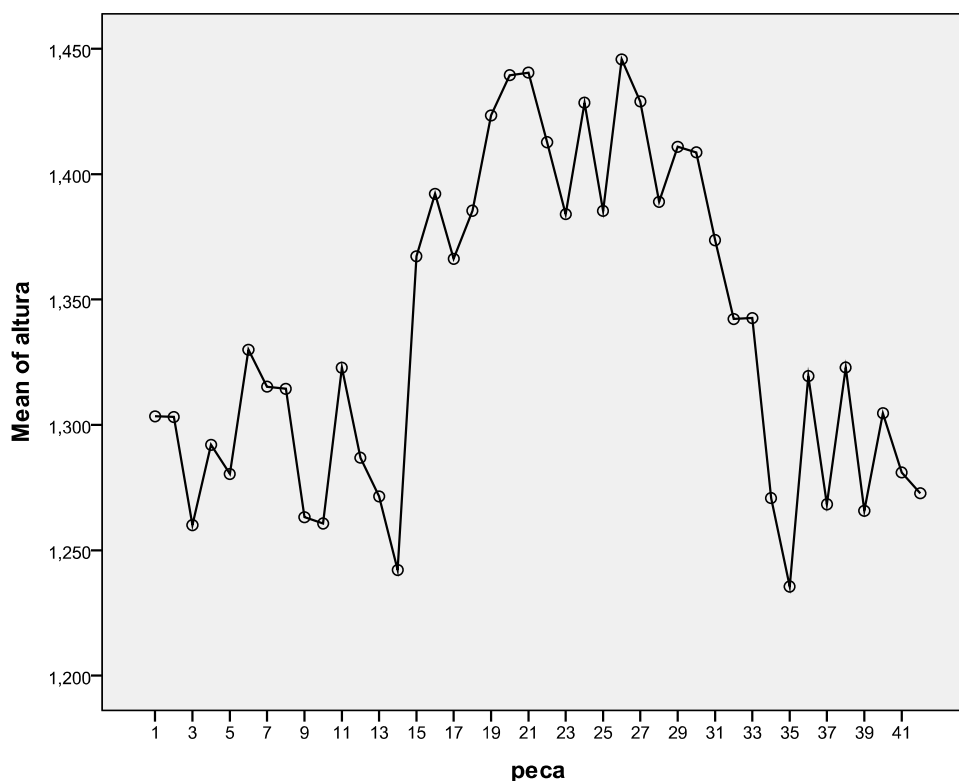


Figura 27: Gráfico de médias das espessuras

O gráfico da figura 27 complementa a análise ajudando a retirar mais conclusões. Assim consegue-se concluir que existe um conjunto de peças, com médias superiores a tolerância superior (1,4 mm), repare-se que, de facto, os valores de  $C_{pk}$  para estas peças são negativos ou apresentam valores muito próximos de zero como se verifica com a análise descritiva. A justificação poderá estar no descentramento do processo em relação à média, que coloca os valores das protuberâncias fora de especificação.

Teoricamente no futuro as 42 protuberâncias podem ser reduzidas a 21 para realizar o controlo. No entanto não existe relação prática relativamente à geometria da peça uma vez que esta tem dois patamares de estampagem, desta forma faria sentido a nível prático as protuberâncias junto das extremidades apresentarem maior variabilidade, o que não se verificou. A justificação reside no facto de se ter detectado que esta peça, depois da pré-série realizada, dava origem a vários problemas de montabilidade. Estas conclusões foram consequentes dos vários estudos efectuados à

guia de onda para detectar a origem, nomeadamente se a sua geometria era a mais adequada. O que se verificou foi que, realmente, havia problemas na concepção da peça e que esta teve de ser alterada. Este facto justifica os maus resultados obtidos estatisticamente, ou seja a impossibilidade de redução lógica do número de variáveis a medir de futuro. Esta alteração foi posterior à realização do meu estágio na Teka Portugal.

No entanto e com o intuito de complementar a análise de variância realiza-se de seguida a análise factorial.

### III.4.2. Análise factorial

Com o  $KMO=0,436$  (tabela 20) a recomendação face a AF não é boa, ou seja, as variáveis podem estar pouco relacionadas (Pestana e Gageiro, 2008). Já o teste de esfericidade de Bartlett apresenta um  $p\text{-value} < 0,001$ , pelo que se conclui que as variáveis estão correlacionadas significativamente (Maroco, 2010) e que se pode realmente utilizar a AF (Pestana e Gageiro, 2008).

Tabela 20: Teste de Kmo e Bartlett Guia de Onda C

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.			,436
Bartlett's	Test	of Approx. Chi-Square	1466,690
Sphericity		Df	861
		Sig.	,000

Com a análise factorial foram criados 13 factores que explicam a variância dos dados (anexo 6). Após se realizar a rotação *varimax* de factores (anexo 7) conclui-se que os 13 factores criados pela análise factorial agrupam as seguintes protuberâncias: o factor 1 inclui a 37, 38, 40, 41 e a 42. O factor 2 inclui a 15, 16, 17, 18, 19, 35, 36 e 38. O factor 3 inclui a 8, 9, 10, 26 e 29. O factor 4 inclui a 24, 27 e 21. O factor 5 inclui a 20 e a 22. O factor 6 inclui a 1 e a 2. O factor 7 inclui a 33. O factor 8 inclui a 3, 14 e a 28. O factor 9 inclui a 12, 13, 30 e 31. O factor 10 inclui a 6 e a 32. O factor 11 inclui a 11 e a 34. O factor 12 inclui a 7, 23 e 25. Finalmente o factor 13 inclui a 4 e a 5. As protuberâncias pertencentes ao mesmo grupo apresentam o mesmo tipo de comportamento.

### III.5. Análise das portas

A da porta de um microondas é um componente bastante importante, uma vez que é impeditiva de eventuais fugas de radiação. Uma das características das portas que evitam estas mesmas fugas é geometria das portas, devendo por isso ser plana para que na montagem ela fique assente em perfeição na parte da frente do microondas. Desta forma a característica a analisar na porta é a sua planidade, para assim se conseguir definir quais as variáveis críticas que vão ser sujeitas a futuro controlo estatístico.

Para as portas o tamanho da amostra é  $N=95$ . Estas portas foram produzidas para realizar uma pré-serie, pelo que já estavam pintadas, contudo no futuro o controlo vai ser realizado à saída da linha de fabrico, antes da fase da pintura. Depois de pintadas as portas ficam com as medidas diferentes, ou seja, o valor de espessura vai ser maior, induzindo em erro o controlador. Como a amostra de tamanho 95 já tinha sido sujeita a pintura, teve que se medir a espessura com o respectivo medidor de espessuras e consequentemente subtrair essa diferença às medições realizadas com o gabarit. O gabarit (figura 28) especificamente criado para realizar a medição de todas as portas dos vários tipos de microondas já em produção está também já preparado para a porta do novo microondas e permite medir cada porta em 8 pontos específicos.

O gabarit está equipado com comparadores, que são um aparelho de medida, neste caso digital, caracterizado por ter uma ponteira onde a porta vai pousar, como se vê na figura 29 e através da caixa de recolha automática os dados são introduzidos directamente para o computador.

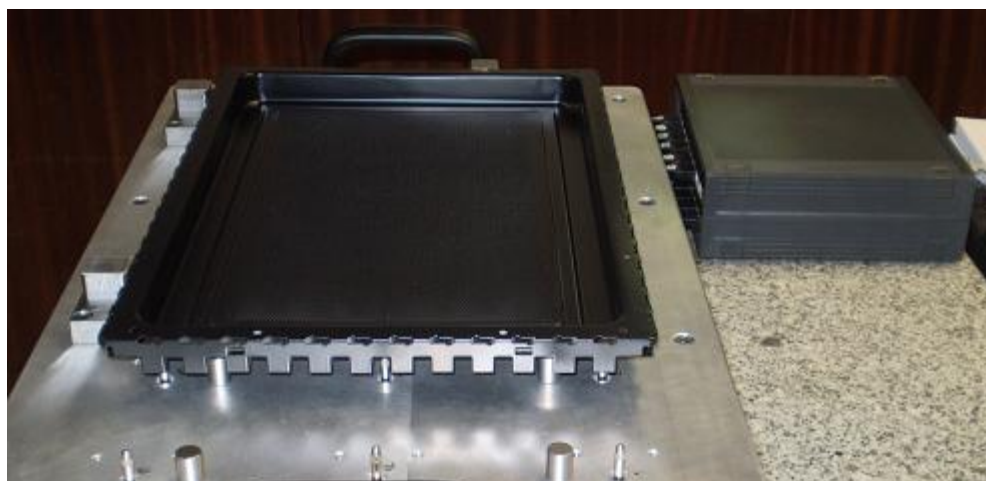


Figura 28: Gabarit específico para medição das portas

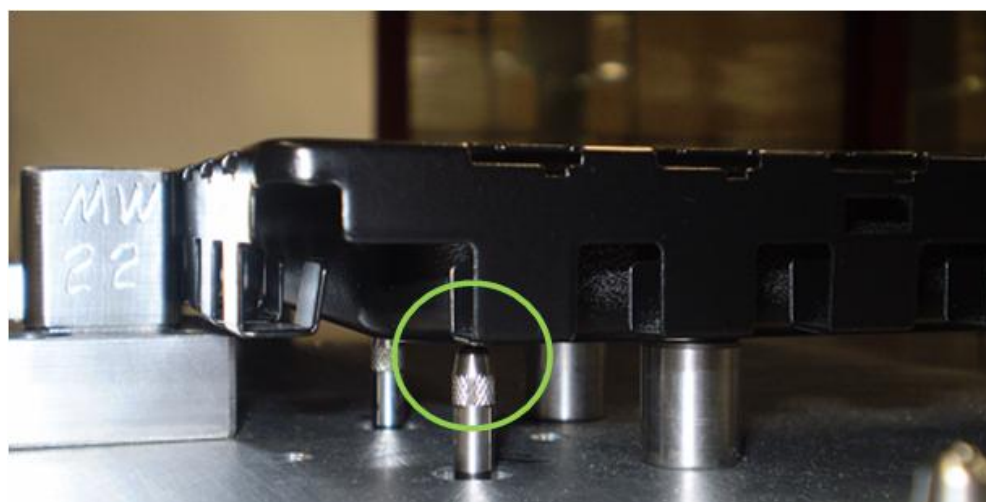


Figura 29: Ponteira do comparador onde a porta assenta para ser medida

Ao medir a planidade o que se pretende é que todos os 8 pontos, assinalados na figura 30, tenham o valor zero, ou seja que a cota nominal seja zero. Contudo a porta não é perfeita, ocorrendo oscilações neste valor, pelo que se definiu que os valores retirados devem estar compreendidos no intervalo  $\pm 0,25$  mm (limite superior e limite inferior).

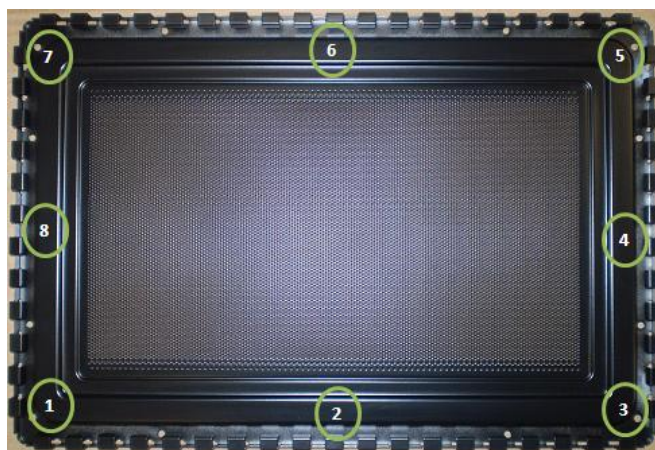


Figura 30: Oito pontos da porta sujeitos a medição

### III.5.1. Análise descritiva

Na tabela 21 apresentam-se os resultados da análise descritiva para as portas.

Tabela 21: Análise descritiva das portas

	2	4	5	6	7	8	10	13
N	91	94	94	95	93	94	94	91
$\bar{x}$	-0,29	-0,11	0,12	-0,06	-0,28	-0,10	-0,26	-0,08
s	0,0374	0,0345	0,0142	0,0191	0,0332	0,0377	0,0189	0,0186
s <sup>2</sup>	0,0014	0,0012	0,0002	0,0004	0,0011	0,0014	0,0004	0,0003
$\Delta$	0,21	0,16	0,07	0,08	0,14	0,18	0,10	0,08
C <sub>p</sub>	0,0031	0,0029	0,0012	0,0016	0,0028	0,0031	0,0016	0,0016
C <sub>pk</sub>	-0,0005	0,0016	0,0006	0,0012	-0,0003	0,0018	-0,0001	0,0010

Da amostra de 95 portas, foram eliminados 14 pontos por serem discrepantes (outliers). Com base nos dados recolhidos verifica-se que o comparador (cmp) 5 é o que apresenta a média mais alta e o cmp 2 apresenta a média de valores mais baixa. O desvio padrão maior é o do cmp 7 e o mais baixo é o do cmp 5. A variância de todos os comparadores é aproximadamente zero. Os valores do índice  $C_p$  são inferiores a 1,3, o que significa que o processo não é capaz.

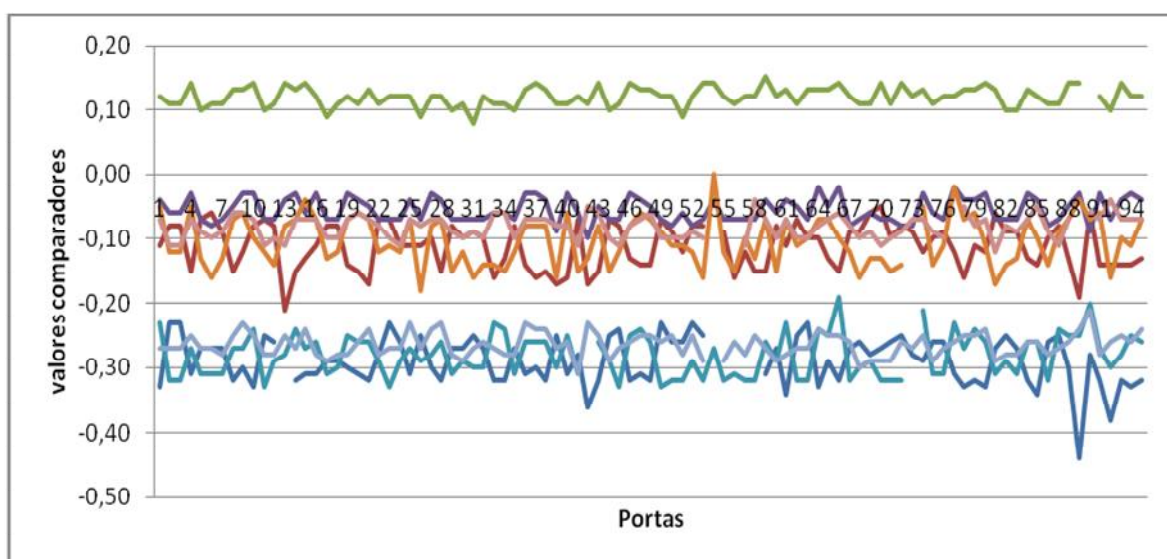


Gráfico 3: valores da planidade das portas obtidos com os comparadores

Com a análise do gráfico 3, o cmp 3, é o único que se destaca dos restantes por assumir valores em torno de 0,1. Todos os outros apresentam valores abaixo de zero. Os cmp 2, 7 e 10, são os que têm os valores de planidade mais baixos e que se encontram fora de especificação, sendo que a tolerância inferior é de -0,25 mm. Este facto justifica o baixo índice de capacidade do processo anteriormente referenciado.

De seguida, e com base na escolha criteriosa das técnicas estatísticas a utilizar, conclui-se que também para estudar a planidade das portas é possível recorrer à análise de variância e à análise factorial.

### III.5.2. Análise de variância

Recorrendo ao teste de K-S e Shapiro-Wilk (tabela 22) obtiveram-se valores de prova inferiores a 0,05, pelo que, a normalidade dos valores recolhidos não se verifica.

Tabela 22: Teste à normalidade - Planidade das Portas

		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	CMP	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Portas	2	,231	95	,000	,707	95	,000
	4	,119	95	,002	,969	95	,022
	5	,184	95	,000	,782	95	,000
	6	,229	95	,000	,906	95	,000
	7	,156	95	,000	,711	95	,000
	8	,124	95	,001	,963	95	,009
	10	,194	95	,000	,586	95	,000
	13	,169	95	,000	,877	95	,000

A homogeneidade de variância (tabela 23) foi testada com o teste de Levene apresentando um valor de prova  $p=0,000$ . Como  $p$  é inferior a 0,05 as variâncias não são homogêneas (Maroco, 2010).

Tabela 23: Teste de Levene

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
12,594	7	752	,000

Apesar de as variáveis não verificarem a normalidade e homogeneidade de variâncias, como a amostra é de tamanho 95 podem-se relaxar estes pressupostos e aplicar a análise de variância.

Tabela 24: Análise de variância para a planidade das portas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12,457	7	1,780	1120,028	,000
Within Groups	1,195	752	,002		
Total	13,652	759			

Segundo se apresenta na tabela 24 o valor de prova resultante da Anova é inferior a 0,05, pelo que se pode afirmar que as médias dos valores da planidade são estatisticamente diferentes entre os diferentes sujeitos a análise.

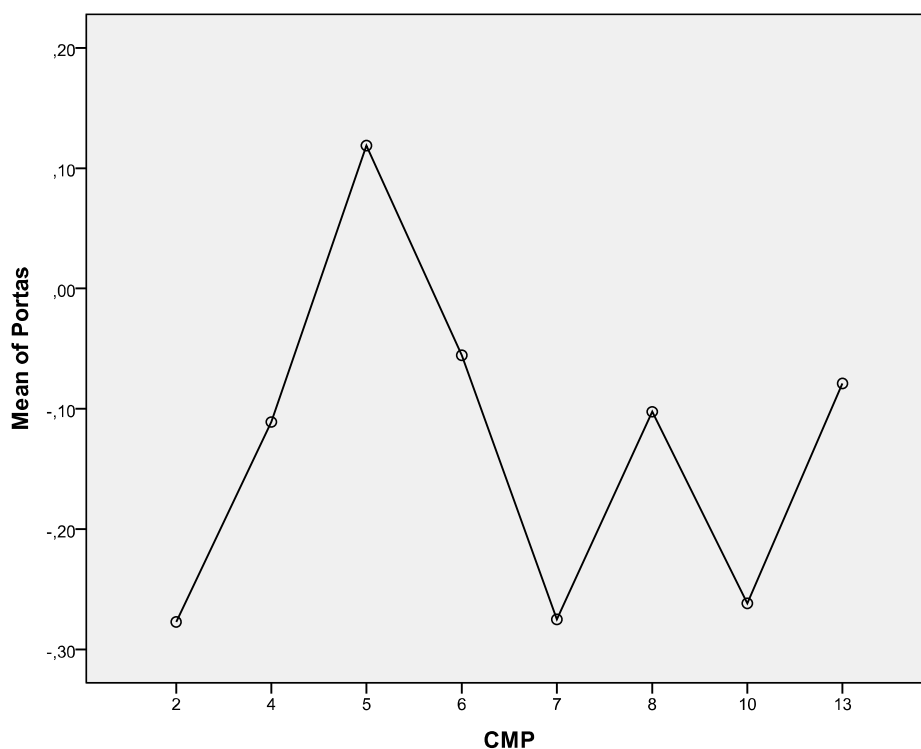


Gráfico 4: Gráfico de médias das planidades nos diferentes comparadores

Através do gráfico 4, pode-se concluir que existe um comparador que se destaca de todos os outros comparadores, significando por isso que a porta neste ponto de medição apresenta valores estatisticamente diferentes dos restantes pontos.



Tabela 25: Teste de Tukey para a planidade das portas

CMP	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
2	95	-,2771				
7	95	-,2751				
10	95	-,2616				
4	95		-,1109			
8	95		-,1024			
13	95			-,0789		
6	95				-,0555	
5	95					,1187
Sig.		,132	,821	1,000	1,000	1,000

O teste de Tukey, na tabela 25, vem reforçar o que foi explicado anteriormente, ou seja, os comparadores 2, 7 e 10 têm médias aproximadamente iguais, assim como o 4 e o 8. Por sua vez, os pontos relativos ao comparador 13, 6 e 5 destacam-se de todos por serem estatisticamente diferentes (figura 31).

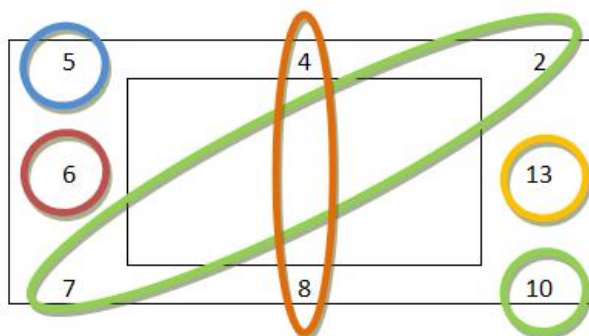


Figura 31: Análise visual comparativa dos pontos medidos nas portas

Com a análise de variância consegue-se retirar conclusões directas sobre os pontos de planidade, uma vez que não existe sobreposição dos valores em grupos distintos. Assim, conclui-se que os valores dos comparadores 13, 6 e 5, têm de ser medidos, porque são estatisticamente diferentes de todos os outros, encontrando-se isolados conforme se vê na figura 29. O comparador 2 é o que apresenta maior valor de variância segundo a análise descritiva realizada e por isso, este ponto, deverá ser medido. Pelas mesmas razões também, vai ser medido o ponto respectivo ao comparador número 8.

Inicialmente existem 8 pontos de controlo. Com a aplicação da análise de variância consegue-se reduzir o número de variáveis para 5. Os pontos que devem ser controlados de futuro são os dos comparadores 13, 6, 5, 2 e 8.

A justificação para se escolher estas variáveis baseia-se na geometria da porta e no facto de a chapa para estampar já ter a furação, pelo que propicia as tensões residuais resultantes da estampagem, influenciando a planidade, para além disso deve-se ter em consideração as características do aço que está a ser utilizado. Especificamente o ponto 6 e o ponto 5, estão em posição de transição no decorrer do processo de estampagem, facto que influencia claramente a variabilidade dos dados. Mais uma vez, o processo de estampagem é realizado em várias etapas o que leva ao aumento de oscilação dos valores medidos.

### III.5.2. Análise factorial

Os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis são apresentados na tabela 26. Através dele consegue-se ver quais as protuberâncias que têm correlações fortes ( $p > 0,5$ ) ou fracas entre si.

Tabela 26: Matriz de correlações da planidade das portas

		cmp2	cmp4	cmp5	cmp6	cmp7	cmp8	cmp10	cmp13
Correlation	cmp2	1,000	,152	-,113	-,373	-,392	-,292	-,199	-,444
	cmp4	,152	1,000	-,378	-,504	-,378	-,439	-,479	-,640
	cmp5	-,113	-,378	1,000	,502	,062	,324	,114	,128
	cmp6	-,373	-,504	,502	1,000	,187	,618	,359	,441
	cmp7	-,392	-,378	,062	,187	1,000	,494	,399	,537
	cmp8	-,292	-,439	,324	,618	,494	1,000	,554	,454
	cmp10	-,199	-,479	,114	,359	,399	,554	1,000	,595
	cmp13	-,444	-,640	,128	,441	,537	,454	,595	1,000
Sig. (1-tailed)	cmp2		,075	,144	,000	,000	,003	,029	,000
	cmp4			,000	,000	,000	,000	,000	,000
	cmp5				,000	,280	,001	,140	,114
	cmp6					,038	,000	,000	,000
	cmp7						,000	,000	,000
	cmp8							,000	,000
	cmp10								,000
	cmp13								

Os pontos do comparador 6 estão relacionados estatisticamente com os do comparador 5 e 8. Assim como os pontos do comparador 7 que se relacionam com os 13. Finalmente os pontos do comparador 10 relacionam-se com o 13 e com o 8. Os restantes comparadores apresentam diferenças estatisticamente diferentes entre eles.

Tabela 27: Teste Kmo e Bartlett's à planidade das portas

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,726
Bartlett's Test of Approx. Chi-Square		296,731
Sphericity	df	28
	Sig.	,000

Relativamente ao teste de *Bartlett's* (tabela 27) apresenta um valor de prova,  $p=0,000$ , o que significa que, as variáveis em estudo estão correlacionadas significativamente e que faz sentido utilizar a análise factorial. Por sua vez também na tabela 27, tem-se um *KMO* com o valor de 0,726, ou seja, a análise factorial indica coeficientes de correlação razoáveis pelo que faz sentido a sua utilização.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	3,739	46,740	46,740	3,739	46,740	46,740	2,883	36,031	36,031
2	1,248	15,594	62,334	1,248	15,594	62,334	2,104	26,303	62,334
3	,918	11,471	73,805						
4	,651	8,141	81,946						
5	,597	7,465	89,412						
6	,411	5,143	94,555						
7	,232	2,894	97,449						
8	,204	2,551	100,000						

Tabela 28: Total variância explicada para pontos das portas

Na tabela 28, apresentam-se o número de factores que explicam a variância. Neste caso a variância total pode ser explicada por um total de 2 factores em cerca de 62,334%.

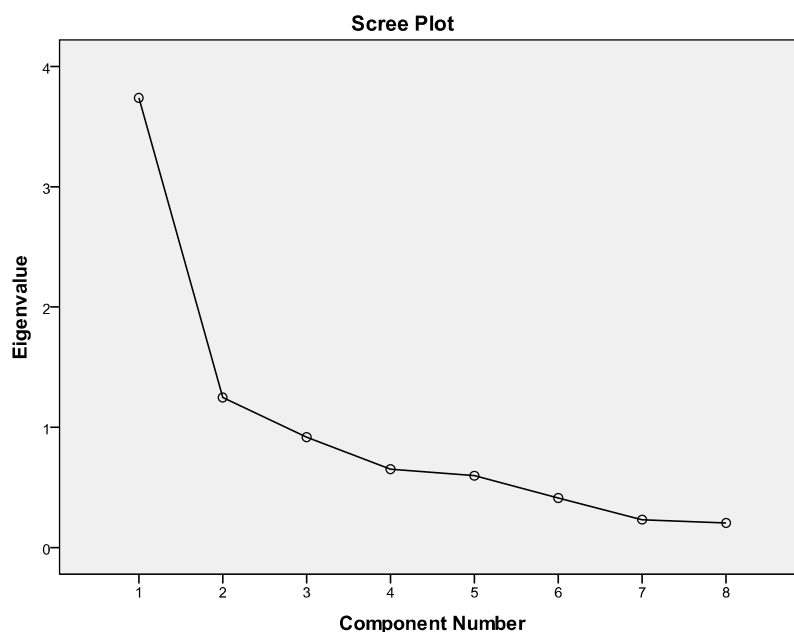


Gráfico 5: Screeplot da planidade das portas

Relativamente ao gráfico 5, tem-se o *scree-plot*, com o objectivo de complementar o estudo realizado. Através da sua análise confirma-se a existência dos 2 factores que explicam a variância total. Como se pode ver, existe mudança de comportamento no segundo ponto do gráfico.

Tabela 29: Matriz após Rotação - planidade das portas

	Factor	
	1	2
cmp2	-,569	-,096
cmp4	-,522	-,558
cmp5	-,095	,871
cmp6	,328	,796
cmp7	,801	-,014
cmp8	,586	,529
cmp10	,704	,239
cmp13	,829	,232

Após realizar a rotação *varimax* (tabela 29) verifica-se que os valores dos comparadores 2, 7, 8, 10 e 13 são explicados pelo factor 1, assim como os valores dos comparadores 4, 5 e 6 são explicados pelo factor 2. Desta forma, a figura 32 destaca

os pontos explicados pelos dois factores, ou seja estes pontos apresentam o mesmo tipo de comportamento e por isso são agrupados no mesmo factor.

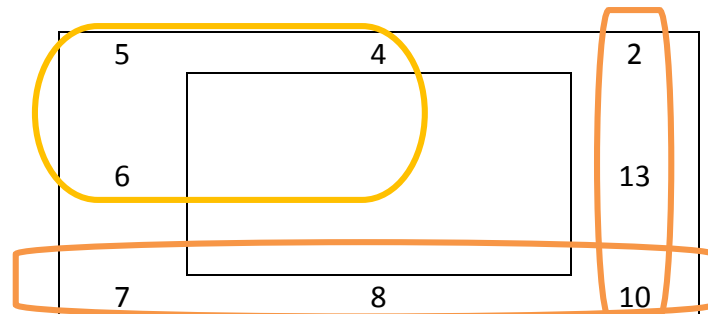


Figura 32: Conclusões retiradas da AF – Planidade das portas

## Capítulo IV – Conclusão

As organizações ao praticarem princípios, técnicas e estratégias de Gestão da Qualidade conseguem garantir que os seus produtos consigam ter as características que os consumidores pretendem. Hoje em dia, face à competição existente nos mercados é fundamental garantir a satisfação do consumidor e a durabilidade dos produtos e serviços existentes.

Gerir com qualidade significa identificar e eliminar/corrigir problemas que surgem no processo produtivo, diminuindo os custos associados à não qualidade.

Relativamente ao presente caso de estudo afere-se que existe uma variabilidade nos dados recolhidos e, para além disso, existem valores que não cumprem os limites de especificação estabelecidos.

Quanto ao objectivo deste estudo conclui-se o seguinte para as diferentes guias de onda:

Para a Guia de Onda A, as quatro protuberâncias têm de ser controladas de futuro, uma vez que não existem semelhanças entre os valores retirados sendo estatisticamente diferentes. Com recurso à análise de variância verifica-se que não é possível reduzir o número de variáveis a medir, uma vez que, são estatisticamente diferentes entre si. Facto justificado com a geometria peculiar da peça que, propicia a variabilidade dos valores de espessura das protuberâncias.

Na Guia de Onda D, constituída por 12 protuberâncias é possível reduzir o número de variáveis para 4, nomeadamente as que devem ser controladas de futuro são as protuberâncias números 1, 2, 5 e 10. Nas restantes protuberâncias a variabilidade é igual, ou seja têm comportamentos mais constantes, e por isso, não são consideradas críticas porque não influenciam o processo de modo a alterar o resultado final. As protuberâncias a medir, apresentam valores de maior variabilidade devido à sua posição na peça, isto é, são as que estão mais próximas da zona onde é realizada uma contra-estampagem, estando por isso, mais susceptíveis de oscilações de valores de espessura.

Com a análise factorial concluí-se que são criados 3 factores que agrupam as protuberâncias com maior correlação entre si. Desta forma, as protuberâncias

números 4, 6, 7, 8 e 9 estão correlacionadas entre si; as protuberâncias 1, 2 e 3 formam outro grupo de relação e finalmente a 5, 10, 11 e 12, formam um terceiro grupo. Significa por isso que existem comportamentos tendenciosos entre estas protuberâncias.

A Guia de Onda C é a mais complexa por apresentar maior número de protuberâncias. É constituída por 42 protuberâncias. Relativamente às conclusões retiradas da análise desta peça, conseguiu-se chegar a resultados teóricos no que concerne à redução de variáveis a medir, para 21 protuberâncias. Contudo, relacionando estes dados com a configuração da peça em questão, não existe lógica para que se meçam estas protuberâncias. De facto existe uma explicação para isto. Estas peças, assim como as outras duas guias ondas e as portas, alvo de estudo neste projecto, foram produzidas a partir de protótipos para a realização da pré-série. Uma pré-série, tem como objectivo a retirada de conclusões sobre o que até então estava apenas estudado em termos teóricos, ou seja, é a partir dos resultados de uma pré-série que basicamente todos os componentes do produto são testados no desempenho das suas funções. O que aconteceu com esta guia de onda, em particular é que foram identificados problemas na montabilidade de mesma, aquando a realização da pré-série e posteriormente foi sujeita a vários testes e alterações onde se concluiu que a geometria da peça tinha de ser alterada porque apresentava problemas de estampagem e consequentemente problemas de soldadura.

Este processo foi realizado posteriormente à minha saída da Teka Portugal. Por isso, de facto, as conclusões a que cheguei não faziam sentido a nível prático, isto porque a peça sujeita a análise era constituída por vários patamares de estampagem e considerando também o seu comprimento, as protuberâncias onde a variabilidade deveria ocorrer deviam estar localizadas junto às extremidades, o que não se verificou nos resultados obtidos.

Quanto à planidade das portas, existiam de início alguns *outliers*, que tiveram de ser eliminados. Posteriormente com a aplicação das técnicas estatísticas é exequível reduzir o número de pontos a medir. O ponto número 5, destaca-se dos

restantes. Com a análise de variância conclui-se que é possível reduzir o número de variáveis a medir de 8 para 5. Segundo os resultados obtidos com a análise de variância, os pontos que devem ser medidos nas portas são o 13, 6, 5, 2 e 8. Os resultados da análise factorial complementam o estudo criando dois factores que explicam a variância, nomeadamente os pontos dos comparadores 2, 13, 10, 8 e 7 formam um grupo por estarem correlacionados assim como a 4, 5 e 6, são explicadas por outro factor.

Com estas conclusões e resultados apresentados existem algumas considerações que seriam importantes para realizar de futuro. Como este estudo foi realizado em peças produzidas para a realização de uma pré-série de 90 microondas, seria interessante recolher durante a produção dados para se analisar possíveis variabilidades que não tenham sido detectadas nestas peças, uma vez que as mesmas foram produzidas especialmente para a pré-série, ou seja, em condições normais de produção poderá haver alterações de comportamento das variáveis.

Para a Guia de Onda C, será irrefutável voltar a realizar um estudo sobre as protuberâncias na peça já com a nova geometria, para se conseguir ter conclusões sobre a mesma.

Em relação forma como são efectuadas as medições da porta não existe nenhuma sugestão de melhoria, isto porque o gabarit existente para recolha de dados foi construído precisamente para o arranque deste novo microondas. A probabilidade do erro do operador é muito baixa, por que as peças estão estabilizadas no equipamento de medição, minimizando assim o erro humano.

Para as guias de onda, sugere-se a idealização de um equipamento equivalente ao das portas, apesar do equipamento utilizado estar assente numa base, a probabilidade de erro humano ao fixar verticalmente a peça existe, facto que é acentuado se estiverem a ser realizadas medições de um número elevado de peças.



Eventualmente devia-se também considerar a hipótese de melhorar a geometria das guias de onda, uma vez que, a variabilidade que as peças apresentam são consequência essencialmente da sua geometria e também do processo de estampagem.

Considera-se interessante a aplicação futura de um controlo estatístico de processo, para ser possível realizar acções preventivas face a eventual detecção de incapacidade do processo, levando à diminuição de custos de não qualidade e essencialmente otimizar o processo produtivo.

## Bibliografia

- Guimarães, R.C.; Cabral, J.A.S; “Estatística”, McGrawHill, 1997;
- Silva, C.M; “Estatística aplicada á psicologia e ciências sociais”, McGrawHill, 1994;
- Pestana, M. H.; Gageiro, J.N.; “Análise de dados para ciências sociais”, Edições Sílabo, 5ª edição, 2008;
- Gryna, F.M.; Chua, R.C.H.; DeFeo, J.A.; “Juran’s quality Planing and Analisys”, McGrawHill International Edition, 2007;
- Goetsch,D.L; Davis, S.B.; “Quality management: Introduction to Total Quality Management for Production, Processing and Services”, Pearson International Edition, Fifth Edition, 2006;
- Lindsay, W.M.; Evans, J. R.; “The management and control quality”, International Student Edition, Seventh Edition, 2008;
- Hair; Black;Babin; Anderson; “Análise Multivariada de dados” , Artmed Editora S.A., 6ª Edição, 2009;
- Gryan, F.M., “Quality Planning and Analysis from product development trough use”, McGrawHill, Fourth Edition, 2001;
- Oakland, J.S; Sohal, A. S.; “Total quality Management text with cases”, Pacific Rim Edition, 2001;
- “Controlo Estatístico do Processo”; 1ª edição; Instituto Português da Qualidade;
- Requeijo, J.G.; Pereira, Z. L.; “Qualidade, Planeamento e Controlo Estatístico de Processos ”, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa; Prefácio; 2008;
- Apontamentos da disciplina de Gestão da Qualidade, Maria João Pire; Helena Alvelos; 2010-2011;
- Apontamentos da Disciplina de Análise de Dados; José Vasconcelos Ferreira, 2010-2011;
- Marôco, J.; “Análise Estatística com o SPSS Statistics”; 5ªedição; Report Number; 2011;

- Montgomery, D.C; “Introduction to Statistical Quality Control”; 4<sup>th</sup> Edition; Wiley; 2001;
- Microwave Ovens, “Technical information”, Manual da Teka Portugal;

## Anexos

### Anexo 1: Teste Tukey Guia de Onda A

(I) Peca	(J) Peca	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,0083500*	,0011772	,000	-,011396	-,005304
	3	-,0115333*	,0011772	,000	-,014579	-,008487
	4	-,0041667*	,0011772	,003	-,007213	-,001121
2	1	,0083500*	,0011772	,000	,005304	,011396
	3	-,0031833*	,0011772	,037	-,006229	-,000137
	4	,0041833*	,0011772	,003	,001137	,007229
3	1	,0115333*	,0011772	,000	,008487	,014579
	2	,0031833*	,0011772	,037	,000137	,006229
	4	,0073667*	,0011772	,000	,004321	,010413
4	1	,0041667*	,0011772	,003	,001121	,007213
	2	-,0041833*	,0011772	,003	-,007229	-,001137
	3	-,0073667*	,0011772	,000	-,010413	-,004321

### Anexo 2: Tukey para a Guia de Onda D

(I) protuberancia	(J) protuberancia	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,031017*	,001737	,000	-,03671	-,02532
	3	-,019700*	,001737	,000	-,02540	-,01400
	4	-,023883*	,001737	,000	-,02958	-,01819
	5	-,023383*	,001737	,000	-,02908	-,01769
	6	-,023533*	,001737	,000	-,02923	-,01784
	7	-,016867*	,001737	,000	-,02256	-,01117
	8	-,022333*	,001737	,000	-,02803	-,01664
	9	-,021900*	,001737	,000	-,02760	-,01620
	10	-,024717*	,001737	,000	-,03041	-,01902
	11	-,025367*	,001737	,000	-,03106	-,01967
	12	-,021850*	,001737	,000	-,02755	-,01615
2	1	,031017*	,001737	,000	,02532	,03671
	3	,011317*	,001737	,000	,00562	,01701
	4	,007133*	,001737	,003	,00144	,01283
	5	,007633*	,001737	,001	,00194	,01333

	6	,007483*	,001737	,001	,00179	,01318
	7	,014150*	,001737	,000	,00845	,01985
	8	,008683*	,001737	,000	,00299	,01438
	9	,009117*	,001737	,000	,00342	,01481
	10	,006300*	,001737	,016	,00060	,01200
	11	,005650	,001737	,054	-,00005	,01135
	12	,009167*	,001737	,000	,00347	,01486
3	1	,019700*	,001737	,000	,01400	,02540
	2	-,011317*	,001737	,000	-,01701	-,00562
	4	-,004183	,001737	,402	-,00988	,00151
	5	-,003683	,001737	,608	-,00938	,00201
	6	-,003833	,001737	,545	-,00953	,00186
	7	,002833	,001737	,897	-,00286	,00853
	8	-,002633	,001737	,936	-,00833	,00306
	9	-,002200	,001737	,983	-,00790	,00350
	10	-,005017	,001737	,147	-,01071	,00068
	11	-,005667	,001737	,053	-,01136	,00003
	12	-,002150	,001737	,986	-,00785	,00355
4	1	,023883*	,001737	,000	,01819	,02958
	2	-,007133*	,001737	,003	-,01283	-,00144
	3	,004183	,001737	,402	-,00151	,00988
	5	,000500	,001737	1,000	-,00520	,00620
	6	,000350	,001737	1,000	-,00535	,00605
	7	,007017*	,001737	,003	,00132	,01271
	8	,001550	,001737	,999	-,00415	,00725
	9	,001983	,001737	,993	-,00371	,00768
	10	-,000833	,001737	1,000	-,00653	,00486
	11	-,001483	,001737	,999	-,00718	,00421
	12	,002033	,001737	,991	-,00366	,00773
5	1	,023383*	,001737	,000	,01769	,02908
	2	-,007633*	,001737	,001	-,01333	-,00194
	3	,003683	,001737	,608	-,00201	,00938
	4	-,000500	,001737	1,000	-,00620	,00520
	6	-,000150	,001737	1,000	-,00585	,00555
	7	,006517*	,001737	,010	,00082	,01221
	8	,001050	,001737	1,000	-,00465	,00675
	9	,001483	,001737	,999	-,00421	,00718
	10	-,001333	,001737	1,000	-,00703	,00436
	11	-,001983	,001737	,993	-,00768	,00371
	12	,001533	,001737	,999	-,00416	,00723

6	1	,023533*	,001737	,000	,01784	,02923
	2	-,007483*	,001737	,001	-,01318	-,00179
	3	,003833	,001737	,545	-,00186	,00953
	4	-,000350	,001737	1,000	-,00605	,00535
	5	,000150	,001737	1,000	-,00555	,00585
	7	,006667*	,001737	,007	,00097	,01236
	8	,001200	,001737	1,000	-,00450	,00690
	9	,001633	,001737	,999	-,00406	,00733
	10	-,001183	,001737	1,000	-,00688	,00451
	11	-,001833	,001737	,996	-,00753	,00386
	12	,001683	,001737	,998	-,00401	,00738
7	1	,016867*	,001737	,000	,01117	,02256
	2	-,014150*	,001737	,000	-,01985	-,00845
	3	-,002833	,001737	,897	-,00853	,00286
	4	-,007017*	,001737	,003	-,01271	-,00132
	5	-,006517*	,001737	,010	-,01221	-,00082
	6	-,006667*	,001737	,007	-,01236	-,00097
	8	-,005467	,001737	,074	-,01116	,00023
	9	-,005033	,001737	,144	-,01073	,00066
	10	-,007850*	,001737	,000	-,01355	-,00215
	11	-,008500*	,001737	,000	-,01420	-,00280
	12	-,004983	,001737	,154	-,01068	,00071
8	1	,022333*	,001737	,000	,01664	,02803
	2	-,008683*	,001737	,000	-,01438	-,00299
	3	,002633	,001737	,936	-,00306	,00833
	4	-,001550	,001737	,999	-,00725	,00415
	5	-,001050	,001737	1,000	-,00675	,00465
	6	-,001200	,001737	1,000	-,00690	,00450
	7	,005467	,001737	,074	-,00023	,01116
	9	,000433	,001737	1,000	-,00526	,00613
	10	-,002383	,001737	,968	-,00808	,00331
	11	-,003033	,001737	,846	-,00873	,00266
	12	,000483	,001737	1,000	-,00521	,00618
9	1	,021900*	,001737	,000	,01620	,02760
	2	-,009117*	,001737	,000	-,01481	-,00342
	3	,002200	,001737	,983	-,00350	,00790
	4	-,001983	,001737	,993	-,00768	,00371
	5	-,001483	,001737	,999	-,00718	,00421
	6	-,001633	,001737	,999	-,00733	,00406
	7	,005033	,001737	,144	-,00066	,01073

	8	-,000433	,001737	1,000	-,00613	,00526
	10	-,002817	,001737	,901	-,00851	,00288
	11	-,003467	,001737	,696	-,00916	,00223
	12	,000050	,001737	1,000	-,00565	,00575
10	1	,024717*	,001737	,000	,01902	,03041
	2	-,006300*	,001737	,016	-,01200	-,00060
	3	,005017	,001737	,147	-,00068	,01071
	4	,000833	,001737	1,000	-,00486	,00653
	5	,001333	,001737	1,000	-,00436	,00703
	6	,001183	,001737	1,000	-,00451	,00688
	7	,007850*	,001737	,000	,00215	,01355
	8	,002383	,001737	,968	-,00331	,00808
	9	,002817	,001737	,901	-,00288	,00851
	11	-,000650	,001737	1,000	-,00635	,00505
	12	,002867	,001737	,890	-,00283	,00856
11	1	,025367*	,001737	,000	,01967	,03106
	2	-,005650	,001737	,054	-,01135	,00005
	3	,005667	,001737	,053	-,00003	,01136
	4	,001483	,001737	,999	-,00421	,00718
	5	,001983	,001737	,993	-,00371	,00768
	6	,001833	,001737	,996	-,00386	,00753
	7	,008500*	,001737	,000	,00280	,01420
	8	,003033	,001737	,846	-,00266	,00873
	9	,003467	,001737	,696	-,00223	,00916
	10	,000650	,001737	1,000	-,00505	,00635
	12	,003517	,001737	,676	-,00218	,00921
12	1	,021850*	,001737	,000	,01615	,02755
	2	-,009167*	,001737	,000	-,01486	-,00347
	3	,002150	,001737	,986	-,00355	,00785
	4	-,002033	,001737	,991	-,00773	,00366
	5	-,001533	,001737	,999	-,00723	,00416
	6	-,001683	,001737	,998	-,00738	,00401
	7	,004983	,001737	,154	-,00071	,01068
	8	-,000483	,001737	1,000	-,00618	,00521
	9	-,000050	,001737	1,000	-,00575	,00565
	10	-,002867	,001737	,890	-,00856	,00283
	11	-,003517	,001737	,676	-,00921	,00218

### Anexo 3: Análise factorial - Correlações de Pearson Guia de Onda D

		prot1	prot2	prot3	prot4	prot5	prot6	prot7	prot8	prot9	prot10	prot11	prot12
Correlation	prot1	1,000	,636	,522	,358	,137	,297	,280	,347	,326	,278	,429	,435
	prot2	,636	1,000	,732	,478	,104	,441	,320	,341	,376	,348	,290	,398
	prot3	,522	,732	1,000	,611	,191	,637	,392	,572	,557	,486	,388	,535
	prot4	,358	,478	,611	1,000	,435	,641	,441	,552	,626	,429	,378	,372
	prot5	,137	,104	,191	,435	1,000	,385	,113	,167	,060	,391	,262	,214
	prot6	,297	,441	,637	,641	,385	1,000	,424	,615	,584	,507	,381	,473
	prot7	,280	,320	,392	,441	,113	,424	1,000	,387	,493	,149	,332	,247
	prot8	,347	,341	,572	,552	,167	,615	,387	1,000	,728	,457	,518	,484
	prot9	,326	,376	,557	,626	,060	,584	,493	,728	1,000	,373	,400	,253
	prot10	,278	,348	,486	,429	,391	,507	,149	,457	,373	1,000	,653	,577
	prot11	,429	,290	,388	,378	,262	,381	,332	,518	,400	,653	1,000	,523
	prot12	,435	,398	,535	,372	,214	,473	,247	,484	,253	,577	,523	1,000
Sig. (1-tailed)	prot1		,000	,000	,003	,148	,011	,015	,003	,006	,016	,000	,000
	prot2	,000		,000	,000	,216	,000	,006	,004	,002	,003	,012	,001
	prot3	,000	,000		,000	,072	,000	,001	,000	,000	,000	,001	,000
	prot4	,003	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,001	,002
	prot5	,148	,216	,072	,000		,001	,194	,101	,325	,001	,022	,050
	prot6	,011	,000	,000	,000	,001		,000	,000	,000	,000	,001	,000
	prot7	,015	,006	,001	,000	,194	,000		,001	,000	,128	,005	,028
	prot8	,003	,004	,000	,000	,101	,000	,001		,000	,000	,000	,000
	prot9	,006	,002	,000	,000	,325	,000	,000	,000		,002	,001	,026
	prot10	,016	,003	,000	,000	,001	,000	,128	,000	,002		,000	,000
	prot11	,000	,012	,001	,001	,022	,001	,005	,000	,001	,000		,000
	prot12	,000	,001	,000	,002	,050	,000	,028	,000	,026	,000	,000	

### Anexo 4: Guia de onda peça C- Teste à normalidade

		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Altura da protuberancia	1	,117	60	,042	,978	60	,334
	2	,183	60	,000	,794	60	,000
	3	,112	60	,057	,929	60	,002
	4	,172	60	,000	,933	60	,003
	5	,188	60	,000	,885	60	,000



6	,233	60	,000	,583	60	,000
7	,243	60	,000	,624	60	,000
8	,142	60	,004	,923	60	,001
9	,117	60	,039	,939	60	,005
10	,096	60	,200*	,949	60	,014
11	,176	60	,000	,738	60	,000
12	,254	60	,000	,549	60	,000
13	,243	60	,000	,673	60	,000
14	,249	60	,000	,517	60	,000
15	,205	60	,000	,809	60	,000
16	,147	60	,003	,894	60	,000
17	,201	60	,000	,733	60	,000
18	,216	60	,000	,806	60	,000
19	,169	60	,000	,894	60	,000
20	,103	60	,181	,967	60	,103
21	,113	60	,054	,944	60	,008
22	,161	60	,001	,897	60	,000
23	,227	60	,000	,869	60	,000
24	,252	60	,000	,786	60	,000
25	,157	60	,001	,884	60	,000
26	,123	60	,024	,965	60	,083
27	,134	60	,009	,898	60	,000
28	,184	60	,000	,871	60	,000
29	,162	60	,000	,890	60	,000
30	,174	60	,000	,804	60	,000
31	,165	60	,000	,919	60	,001
32	,240	60	,000	,704	60	,000
33	,159	60	,001	,938	60	,004
34	,149	60	,002	,856	60	,000
35	,212	60	,000	,905	60	,000
36	,283	60	,000	,757	60	,000
37	,237	60	,000	,732	60	,000
38	,191	60	,000	,860	60	,000
39	,223	60	,000	,840	60	,000
40	,268	60	,000	,795	60	,000
41	,164	60	,000	,801	60	,000
42	,295	60	,000	,483	60	,000

**Anexo 5: Teste de Tukey Guia de Onda C**

Prot	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
35	60	1,23552																				
14	60	1,24213																				
3	60		1,26005																			
10	60		1,26068	1,26068																		
9	60		1,26317	1,26317	1,26317																	
39	60		1,26573	1,26573	1,26573																	
37	60		1,26833	1,26833	1,26833																	
34	60		1,27080	1,27080	1,27080	1,27080																
13	60			1,27148	1,27148	1,27148																
42	60				1,27272	1,27272																
5	60					1,28042	1,28042															
41	60					1,28100	1,28100	1,28100														
12	60						1,28688	1,28688														
4	60							1,29207	1,29207													
2	60								1,30313	1,30313												
1	60								1,30343	1,30343												
40	60									1,30465	1,30465											
8	60									1,31438	1,31438	1,31438										
7	60										1,31522	1,31522										
36	60											1,31945	1,31945									
11	60											1,32280	1,32280									
38	60											1,32288	1,32288									
6	60												1,32998									
32	60													1,34223								
33	60													1,34258								
17	60														1,36623							
15	60														1,36725							
31	60														1,37367	1,37367						
23	60															1,38405	1,38405					
25	60																1,38535					
18	60																1,38542					

[illegible]

**Anexo 6: Variância total explicada Guia de onda C**

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,364	12,771	12,771	5,364	12,771	12,771	4,429	10,544	10,544
2	4,913	11,698	24,469	4,913	11,698	24,469	4,059	9,664	20,208
3	3,859	9,187	33,656	3,859	9,187	33,656	2,929	6,974	27,183
4	2,935	6,989	40,645	2,935	6,989	40,645	2,703	6,435	33,618
5	2,353	5,602	46,247	2,353	5,602	46,247	2,332	5,553	39,172
6	2,091	4,977	51,224	2,091	4,977	51,224	2,332	5,553	44,724
7	1,876	4,467	55,691	1,876	4,467	55,691	2,190	5,215	49,939
8	1,700	4,048	59,739	1,700	4,048	59,739	1,977	4,706	54,645
9	1,535	3,654	63,394	1,535	3,654	63,394	1,948	4,637	59,282
10	1,437	3,422	66,815	1,437	3,422	66,815	1,824	4,343	63,625
11	1,308	3,114	69,929	1,308	3,114	69,929	1,798	4,281	67,906
12	1,176	2,800	72,730	1,176	2,800	72,730	1,582	3,766	71,672
13	1,076	2,562	75,291	1,076	2,562	75,291	1,520	3,619	75,291
14	,998	2,376	77,667						
15	,913	2,175	79,842						
16	,904	2,153	81,995						
17	,788	1,877	83,872						
18	,738	1,757	85,629						
19	,643	1,530	87,159						
20	,615	1,464	88,623						
21	,574	1,368	89,991						
22	,534	1,271	91,262						
23	,466	1,109	92,371						
24	,401	,954	93,325						
25	,371	,884	94,209						
26	,323	,768	94,977						
27	,274	,653	95,630						
28	,265	,630	96,261						
29	,220	,524	96,784						
30	,199	,474	97,258						
31	,193	,459	97,717						
32	,164	,390	98,107						
33	,148	,353	98,460						
34	,137	,326	98,786						
35	,104	,247	99,033						
36	,094	,223	99,256						
37	,091	,217	99,472						

38	,071	,169	99,642						
39	,066	,156	99,798						
40	,036	,085	99,883						
41	,030	,072	99,956						
42	,019	,044	100,000						

## Anexo 7: Tabela com valores após rotação varimax de factores Guia de Onda C

	Factores												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
prot1	-,241	,259	-,062	-,108	-,136	,687	-,187	,066	-,189	-,077	-,096	,196	,015
prot2	-,083	,110	-,045	,033	,036	,760	-,021	-,189	,054	-,028	-,038	-,047	-,254
prot3	,116	-,014	,153	-,023	,030	,080	-,042	,670	,006	-,009	,452	,124	,092
prot4	-,165	-,081	-,755	,025	,041	-,036	-,185	,048	-,061	-,018	-,048	,003	,128
prot5	,025	,088	,045	-,055	-,069	-,147	,040	-,065	,214	-,054	,004	,016	,859
prot6	-,121	,002	,251	-,048	-,255	,162	-,290	-,122	-,011	,628	-,077	,231	,121
prot7	-,031	-,023	-,056	,027	,015	-,051	-,053	,030	,075	-,023	-,099	,838	-,039
ptoy8	-,136	-,042	,632	,184	,260	,028	-,154	,214	,010	-,027	,037	,299	,187
prot9	,076	-,050	,455	-,088	,221	,124	-,395	,073	,321	-,062	-,014	-,103	,106
prot10	,181	,010	,743	-,056	-,099	-,150	-,062	,067	-,090	,059	,068	-,084	,049
prot11	-,074	,257	,296	-,332	,231	-,248	,105	-,075	-,044	-,288	,305	,105	,124
prot12	-,553	,428	-,058	-,077	,292	,078	,095	,120	,442	,256	,011	,094	,021
prot13	-,600	,123	,061	-,201	-,024	,192	-,225	,091	,347	-,325	-,003	,183	,035
prot14	-,008	-,022	,036	-,590	,261	,255	-,329	,355	-,168	,112	-,144	,065	,025
prot15	,188	,296	-,058	-,661	,284	,070	-,044	,181	,024	,068	-,059	,245	-,243
prot16	,069	,780	,007	,107	-,026	-,050	,040	-,124	,137	-,067	-,006	-,032	,073
prot17	-,039	,807	,023	-,190	-,161	,134	-,090	,063	-,155	,017	-,055	-,005	,029
prot18	,159	,586	,237	-,303	,222	,149	-,185	,334	-,124	,089	-,164	,027	,092
prot19	,034	,497	,171	,012	,285	-,076	-,090	,030	-,179	,304	,018	-,078	,411
prot20	,014	,076	,345	-,124	,392	,063	-,002	,033	,065	,004	-,610	,044	,164
prot21	-,694	,060	,198	,272	-,061	-,158	,108	-,129	,067	-,195	-,068	-,051	-,108
prot22	-,060	-,099	-,061	,039	,235	,222	,038	-,755	-,014	-,016	,085	-,014	,157
prot23	,038	,024	,046	-,107	,790	-,003	,010	-,109	-,105	-,070	-,046	,060	-,071
prot24	,098	,209	,081	,663	,476	-,208	,078	-,084	,098	,117	,077	-,047	-,062
prot25	,197	-,080	,121	-,229	,089	,351	-,084	,132	,089	,351	,148	,608	,142
prot26	-,147	,345	,384	,175	,302	,047	-,022	-,314	-,023	-,155	,347	-,006	,174
prot27	,027	,111	-,045	,703	-,076	,200	-,032	,167	-,051	,019	-,102	,123	-,110
prot28	,271	-,089	-,152	,231	,250	,204	,433	,441	-,240	,194	-,172	-,016	,118
prot29	,115	-,043	,551	,100	,142	,545	,370	,111	,088	,101	,069	-,109	,118
prot30	-,136	,107	,217	,396	,107	,403	,416	-,017	,461	-,089	,103	-,033	,017

prot31	-,032	-,077	-,002	,047	-,216	-,143	,084	-,066	,637	,127	,037	,188	,251
prot32	,123	,115	-,076	,032	,081	-,184	,304	,132	,117	,798	-,008	-,024	-,119
prot33	-,017	,016	,077	,025	,018	-,063	,868	-,059	,109	,051	,072	-,093	,029
prot34	-,009	-,028	,236	-,044	,070	-,042	,090	,067	,073	-,011	,831	-,071	,048
prot35	,160	,703	-,015	,239	,129	,015	,117	,045	-,148	,070	,060	,002	-,222
prot36	-,146	,724	-,011	,168	,030	,246	,020	,071	,451	-,098	-,066	-,011	,078
prot37	,744	,220	,082	-,184	,054	-,077	-,217	,187	-,041	-,068	-,114	-,011	,049
prot38	-,120	,586	-,102	-,196	,472	,113	,119	-,035	,340	,236	,143	-,076	,101
prot39	,683	,181	,179	-,071	,177	,004	-,255	,218	,224	,154	,106	-,034	-,097
prot40	,665	,248	,228	,143	,137	-,091	,130	-,093	,336	-,012	-,222	-,078	-,138
prot41	,778	-,086	,123	,157	,035	-,157	,234	-,047	,035	,000	,135	,254	-,098
prot42	,837	-,076	,162	,063	-,234	-,045	,120	,033	-,209	-,138	-,058	-,047	,134

**Anexo 8: Valores da amostra – Guia de Onda A**

		Protuberâncias			
		1	2	3	4
Amostra	1	1,313	1,331	1,329	1,315
	2	1,307	1,313	1,31	1,308
	3	1,298	1,316	1,321	1,319
	4	1,308	1,314	1,317	1,314
	5	1,318	1,321	1,322	1,321
	6	1,316	1,32	1,332	1,318
	7	1,304	1,313	1,316	1,313
	8	1,303	1,316	1,32	1,317
	9	1,313	1,316	1,316	1,316
	10	1,3	1,309	1,32	1,31
	11	1,305	1,315	1,318	1,309
	12	1,317	1,326	1,323	1,322
	13	1,301	1,315	1,318	1,313
	14	1,311	1,314	1,317	1,312
	15	1,314	1,327	1,323	1,31
	16	1,325	1,334	1,34	1,328
	17	1,31	1,311	1,321	1,312
	18	1,311	1,315	1,326	1,318
	19	1,324	1,32	1,314	1,313
	20	1,301	1,31	1,319	1,313
	21	1,313	1,325	1,329	1,318
	22	1,317	1,324	1,325	1,31
	23	1,319	1,32	1,324	1,315
	24	1,323	1,326	1,335	1,323
	25	1,309	1,317	1,317	1,314
	26	1,319	1,327	1,329	1,327
	27	1,308	1,32	1,326	1,317
	28	1,318	1,327	1,328	1,319
	29	1,318	1,324	1,322	1,316
	30	1,305	1,32	1,324	1,311
	31	1,304	1,305	1,307	1,307
	32	1,309	1,322	1,322	1,315
	33	1,313	1,321	1,32	1,312
	34	1,315	1,327	1,33	1,323
	35	1,314	1,317	1,318	1,313
	36	1,309	1,318	1,322	1,32
	37	1,317	1,319	1,326	1,314
	38	1,314	1,323	1,328	1,318
	39	1,32	1,331	1,331	1,322
	40	1,308	1,316	1,323	1,319

41	1,31	1,325	1,325	1,319
42	1,324	1,329	1,331	1,317
43	1,319	1,322	1,331	1,319
44	1,308	1,32	1,323	1,315
45	1,312	1,318	1,316	1,318
46	1,314	1,319	1,327	1,311
47	1,326	1,328	1,333	1,324
48	1,32	1,33	1,33	1,329
49	1,312	1,326	1,338	1,321
50	1,312	1,323	1,329	1,319
51	1,309	1,323	1,322	1,32
52	1,315	1,32	1,327	1,318
53	1,31	1,316	1,317	1,31
54	1,316	1,321	1,343	1,316
55	1,306	1,34	1,311	1,307
56	1,307	1,317	1,321	1,317
57	1,321	1,328	1,33	1,333
58	1,32	1,326	1,336	1,325
59	1,318	1,324	1,327	1,32
60	1,312	1,323	1,329	1,32

**Anexo 9 Valores da amostra – Guia de Onda D**

		Protuberâncias											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Amostra	1	1,205	1,233	1,223	1,229	1,216	1,215	1,208	1,217	1,22	1,218	1,222	1,223
	2	1,197	1,229	1,216	1,201	1,204	1,22	1,209	1,22	1,221	1,217	1,219	1,215
	3	1,208	1,229	1,207	1,208	1,204	1,211	1,2	1,211	1,213	1,204	1,204	1,209
	4	1,187	1,221	1,211	1,218	1,215	1,214	1,213	1,222	1,217	1,217	1,213	1,207
	5	1,193	1,225	1,209	1,219	1,215	1,219	1,204	1,213	1,208	1,216	1,206	1,206
	6	1,225	1,235	1,218	1,218	1,207	1,217	1,222	1,211	1,213	1,219	1,223	1,225
	7	1,216	1,228	1,217	1,219	1,217	1,226	1,211	1,22	1,215	1,223	1,222	1,225
	8	1,206	1,23	1,221	1,224	1,215	1,216	1,211	1,225	1,219	1,217	1,224	1,222
	9	1,189	1,235	1,215	1,224	1,213	1,223	1,208	1,215	1,22	1,215	1,215	1,211
	10	1,188	1,222	1,209	1,222	1,214	1,219	1,2	1,214	1,214	1,212	1,213	1,215
	11	1,192	1,223	1,206	1,218	1,213	1,213	1,208	1,215	1,214	1,21	1,215	1,213
	12	1,172	1,202	1,181	1,183	1,183	1,204	1,189	1,205	1,205	1,212	1,213	1,183
	13	1,196	1,23	1,223	1,223	1,223	1,222	1,206	1,219	1,222	1,223	1,22	1,216
	14	1,179	1,217	1,209	1,217	1,215	1,211	1,203	1,213	1,208	1,208	1,206	1,202
	15	1,201	1,233	1,221	1,233	1,22	1,226	1,234	1,23	1,231	1,222	1,229	1,223
	16	1,195	1,233	1,219	1,216	1,207	1,214	1,2	1,21	1,212	1,248	1,223	1,238
	17	1,212	1,217	1,21	1,207	1,213	1,209	1,205	1,229	1,228	1,217	1,226	1,218
	18	1,185	1,208	1,195	1,201	1,204	1,212	1,203	1,208	1,205	1,204	1,215	1,202
	19	1,18	1,207	1,189	1,206	1,197	1,208	1,21	1,201	1,202	1,202	1,209	1,2
	20	1,201	1,228	1,219	1,219	1,214	1,218	1,212	1,221	1,218	1,218	1,22	1,216
	21	1,19	1,224	1,214	1,217	1,211	1,213	1,203	1,211	1,225	1,217	1,215	1,212
	22	1,201	1,233	1,217	1,227	1,224	1,222	1,209	1,219	1,223	1,229	1,227	1,224
	23	1,195	1,228	1,22	1,226	1,223	1,22	1,216	1,218	1,222	1,223	1,219	1,211
	24	1,193	1,232	1,215	1,218	1,216	1,221	1,211	1,217	1,218	1,22	1,219	1,212
	25	1,192	1,224	1,215	1,22	1,218	1,222	1,217	1,222	1,22	1,217	1,214	1,213
	26	1,199	1,227	1,216	1,22	1,221	1,217	1,221	1,216	1,216	1,225	1,222	1,217
	27	1,193	1,224	1,216	1,214	1,214	1,218	1,214	1,218	1,215	1,216	1,228	1,224
	28	1,199	1,234	1,225	1,224	1,223	1,227	1,214	1,223	1,225	1,226	1,224	1,214
	29	1,192	1,228	1,225	1,227	1,222	1,223	1,213	1,222	1,223	1,221	1,22	1,214
	30	1,205	1,258	1,218	1,208	1,211	1,216	1,219	1,214	1,213	1,213	1,221	1,22
	31	1,196	1,225	1,217	1,222	1,211	1,227	1,205	1,229	1,219	1,238	1,237	1,253
	32	1,192	1,223	1,216	1,237	1,218	1,221	1,213	1,216	1,225	1,223	1,22	1,212
	33	1,197	1,231	1,233	1,214	1,23	1,222	1,215	1,222	1,219	1,238	1,223	1,235
	34	1,192	1,22	1,204	1,223	1,314	1,224	1,202	1,215	1,205	1,237	1,225	1,221
	35	1,2	1,231	1,229	1,218	1,217	1,224	1,226	1,221	1,217	1,228	1,229	1,224
	36	1,199	1,233	1,226	1,222	1,218	1,225	1,218	1,224	1,221	1,219	1,228	1,222
	37	1,2	1,228	1,212	1,228	1,262	1,22	1,208	1,211	1,213	1,215	1,22	1,214
	38	1,202	1,233	1,223	1,229	1,227	1,226	1,219	1,228	1,22	1,226	1,224	1,26



39	1,188	1,226	1,208	1,224	1,216	1,215	1,21	1,219	1,22	1,219	1,219	1,212
40	1,181	1,218	1,217	1,218	1,214	1,22	1,209	1,228	1,212	1,21	1,21	1,223
41	1,2	1,232	1,212	1,221	1,22	1,219	1,206	1,216	1,218	1,229	1,233	1,214
42	1,202	1,227	1,214	1,213	1,216	1,21	1,215	1,203	1,202	1,206	1,217	1,221
43	1,193	1,223	1,211	1,224	1,222	1,225	1,212	1,225	1,224	1,226	1,223	1,216
44	1,207	1,233	1,222	1,233	1,22	1,22	1,208	1,22	1,22	1,226	1,224	1,221
45	1,193	1,229	1,214	1,229	1,22	1,224	1,213	1,217	1,224	1,217	1,221	1,213
46	1,206	1,228	1,228	1,232	1,234	1,233	1,226	1,227	1,229	1,234	1,241	1,226
47	1,195	1,226	1,214	1,221	1,225	1,211	1,223	1,218	1,214	1,223	1,24	1,216
48	1,186	1,225	1,23	1,217	1,22	1,233	1,205	1,216	1,219	1,217	1,215	1,222
49	1,194	1,242	1,234	1,22	1,212	1,216	1,207	1,214	1,213	1,223	1,217	1,21
50	1,204	1,229	1,211	1,214	1,223	1,22	1,213	1,218	1,211	1,222	1,222	1,213
51	1,195	1,226	1,221	1,225	1,221	1,216	1,219	1,223	1,223	1,221	1,222	1,213
52	1,196	1,232	1,217	1,231	1,221	1,225	1,218	1,229	1,227	1,229	1,221	1,214
53	1,184	1,218	1,209	1,223	1,228	1,22	1,242	1,215	1,229	1,214	1,211	1,211
54	1,185	1,206	1,204	1,203	1,228	1,209	1,2	1,204	1,207	1,215	1,218	1,212
55	1,204	1,233	1,224	1,222	1,223	1,222	1,217	1,221	1,221	1,215	1,218	1,218
56	1,176	1,214	1,202	1,207	1,209	1,212	1,21	1,213	1,211	1,22	1,22	1,218
57	1,207	1,233	1,229	1,237	1,23	1,227	1,224	1,23	1,229	1,232	1,242	1,22
58	1,185	1,216	1,202	1,213	1,21	1,214	1,213	1,218	1,213	1,219	1,232	1,224
59	1,188	1,226	1,215	1,215	1,218	1,217	1,215	1,213	1,21	1,22	1,214	1,211
60	1,194	1,225	1,212	1,219	1,211	1,226	1,235	1,215	1,221	1,22	1,217	1,219

## Anexo 10 Dados Guia de Onda C

		Protuberâncias																																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Amostra	1	1,312	1,303	1,288	1,289	1,277	1,330	1,331	1,330	1,271	1,264	1,334	1,295	1,276	1,373	1,431	1,374	1,386	1,435	1,442	1,454	1,401	1,379	1,426	1,378	1,449	1,427	1,408	1,423	1,418	1,380	1,345	1,352	1,304	1,261	1,227	1,299	1,324	1,353	1,304	1,285	1,267	1,273
	2	1,297	1,296	1,264	1,277	1,275	1,322	1,306	1,335	1,266	1,259	1,321	1,282	1,262	1,232	1,342	1,394	1,360	1,379	1,421	1,436	1,462	1,432	1,413	1,424	1,367	1,441	1,427	1,386	1,408	1,413	1,369	1,333	1,330	1,262	1,216	1,301	1,254	1,313	1,250	1,281	1,265	1,251
	3	1,297	1,296	1,252	1,281	1,271	1,317	1,309	1,310	1,257	1,282	1,311	1,291	1,296	1,239	1,367	1,373	1,354	1,381	1,414	1,428	1,453	1,389	1,367	1,425	1,354	1,433	1,423	1,383	1,405	1,410	1,375	1,337	1,340	1,259	1,229	1,319	1,254	1,305	1,286	1,294	1,265	1,267
	4	1,296	1,293	1,265	1,281	1,275	1,314	1,299	1,308	1,260	1,277	1,316	1,180	1,186	1,230	1,364	1,388	1,357	1,386	1,418	1,436	1,401	1,409	1,375	1,430	1,378	1,427	1,436	1,424	1,406	1,381	1,353	1,335	1,334	1,261	1,245	1,269	1,376	1,257	1,312	1,362	1,377	1,427
	5	1,292	1,303	1,259	1,283	1,280	1,326	1,311	1,311	1,250	1,257	1,322	1,330	1,212	1,219	1,381	1,412	1,361	1,388	1,451	1,441	1,428	1,411	1,385	1,492	1,381	1,458	1,435	1,445	1,417	1,416	1,381	1,458	1,378	1,259	1,272	1,330	1,265	1,386	1,301	1,354	1,315	1,274
	6	1,304	1,298	1,273	1,286	1,278	1,326	1,315	1,332	1,269	1,268	1,318	1,286	1,260	1,230	1,322	1,385	1,360	1,393	1,429	1,436	1,438	1,400	1,359	1,482	1,385	1,459	1,483	1,428	1,450	1,422	1,360	1,340	1,329	1,298	1,232	1,329	1,257	1,310	1,288	1,302	1,285	1,261
	7	1,312	1,320	1,280	1,270	1,279	1,317	1,310	1,316	1,261	1,259	1,313	1,291	1,272	1,236	1,363	1,393	1,367	1,392	1,424	1,444	1,432	1,401	1,377	1,421	1,397	1,447	1,445	1,455	1,481	1,457	1,379	1,351	1,393	1,283	1,249	1,338	1,278	1,332	1,262	1,322	1,318	1,326
	8	1,298	1,302	1,250	1,286	1,289	1,319	1,311	1,312	1,274	1,264	1,329	1,288	1,276	1,244	1,349	1,394	1,377	1,385	1,431	1,438	1,438	1,418	1,379	1,429	1,369	1,455	1,413	1,367	1,408	1,407	1,378	1,339	1,355	1,293	1,240	1,322	1,264	1,339	1,281	1,337	1,292	1,302
	9	1,298	1,302	1,300	1,282	1,289	1,327	1,313	1,317	1,267	1,266	1,336	1,287	1,273	1,230	1,374	1,398	1,355	1,383	1,416	1,415	1,444	1,406	1,362	1,417	1,432	1,442	1,416	1,364	1,432	1,420	1,418	1,344	1,352	1,340	1,227	1,322	1,259	1,333	1,296	1,311	1,311	1,278
	10	1,294	1,271	1,258	1,298	1,324	1,316	1,330	1,307	1,271	1,261	1,333	1,290	1,284	1,232	1,361	1,388	1,362	1,380	1,420	1,442	1,423	1,411	1,387	1,425	1,408	1,431	1,416	1,383	1,401	1,403	1,404	1,363	1,376	1,283	1,224	1,322	1,313	1,321	1,266	1,294	1,299	1,302
	11	1,305	1,310	1,251	1,294	1,291	1,356	1,319	1,313	1,269	1,256	1,326	1,294	1,293	1,251	1,368	1,414	1,381	1,405	1,428	1,442	1,435	1,401	1,381	1,441	1,389	1,441	1,437	1,368	1,410	1,419	1,379	1,317	1,297	1,218	1,239	1,351	1,344	1,343	1,305	1,356	1,273	1,298
	12	1,307	1,305	1,263	1,294	1,290	1,315	1,319	1,315	1,267	1,263	1,322	1,286	1,280	1,237	1,375	1,403	1,428	1,412	1,431	1,444	1,447	1,412	1,375	1,428	1,377	1,451	1,438	1,391	1,411	1,409	1,378	1,357	1,330	1,272	1,260	1,384	1,270	1,346	1,298	1,328	1,263	1,270
	13	1,311	1,300	1,257	1,289	1,274	1,321	1,310	1,314	1,269	1,264	1,332	1,326	1,273	1,245	1,389	1,436	1,427	1,423	1,441	1,439	1,439	1,404	1,382	1,422	1,381	1,459	1,435	1,377	1,397	1,413	1,372	1,347	1,343	1,269	1,266	1,369	1,333	1,354	1,264	1,321	1,273	1,264
	14	1,303	1,301	1,270	1,275	1,267	1,341	1,333	1,324	1,279	1,261	1,324	1,279	1,279	1,235	1,369	1,395	1,346	1,381	1,423	1,459	1,435	1,403	1,376	1,421	1,426	1,438	1,406	1,408	1,422	1,406	1,370	1,337	1,323	1,272	1,226	1,312	1,308	1,302	1,304	1,331	1,295	1,280
	15	1,301	1,295	1,262	1,295	1,275	1,330	1,311	1,311	1,256	1,262	1,318	1,284	1,247	1,247	1,368	1,386	1,358	1,380	1,415	1,434	1,443	1,382	1,377	1,417	1,364	1,433	1,419	1,372	1,402	1,409	1,372	1,403	1,331	1,281	1,217	1,294	1,291	1,316	1,267	1,293	1,263	1,266
	16	1,297	1,301	1,256	1,283	1,270	1,326	1,315	1,310	1,257	1,256	1,321	1,286	1,263	1,233	1,382	1,382	1,357	1,378	1,407	1,445	1,428	1,395	1,375	1,420	1,373	1,429	1,430	1,368	1,412	1,407	1,376	1,359	1,355	1,275	1,229	1,320	1,295	1,330	1,268	1,367	1,339	1,270
	17	1,304	1,303	1,248	1,280	1,277	1,322	1,313	1,300	1,265	1,263	1,328	1,286	1,275	1,244	1,365	1,389	1,379	1,387	1,424	1,435	1,439	1,459	1,405	1,434	1,392	1,496	1,421	1,371	1,411	1,411	1,371	1,340	1,338	1,330	1,233	1,322	1,280	1,366	1,280	1,291	1,264	1,261
	18	1,305	1,303	1,246	1,280	1,292	1,326	1,311	1,336	1,276	1,271	1,328	1,289	1,274	1,237	1,369	1,390	1,361	1,383	1,434	1,465	1,447	1,465	1,419	1,437	1,389	1,478	1,428	1,374	1,456	1,434	1,376	1,337	1,346	1,258	1,233	1,321	1,243	1,351	1,262	1,344	1,269	1,269
	19	1,302	1,312	1,246	1,292	1,272	1,326	1,314	1,316	1,268	1,258	1,326	1,286	1,290	1,238	1,397	1,395	1,360	1,385	1,415	1,438	1,421	1,401	1,422	1,442	1,383	1,444	1,443	1,373	1,407	1,416	1,381	1,311	1,346	1,264	1,238	1,322	1,286	1,332	1,294	1,306	1,304	1,263
	20	1,301	1,313	1,259	1,291	1,282	1,319	1,309	1,315	1,262	1,260	1,336	1,288	1,273	1,248	1,362	1,397	1,363	1,385	1,433	1,445	1,444	1,464	1,426	1,465	1,376	1,452	1,434	1,382	1,405	1,409	1,357	1,331	1,342	1,271	1,247	1,318	1,296	1,337	1,256	1,294	1,286	1,261
	21	1,301	1,300	1,259	1,288	1,279	1,323	1,316	1,329	1,280	1,268	1,323	1,290	1,270	1,236	1,367	1,387	1,365	1,385	1,447	1,438	1,439	1,398	1,408	1,429	1,373	1,488	1,423	1,380	1,407	1,409	1,374	1,316	1,341	1,304	1,251	1,324	1,273	1,316	1,255	1,294	1,286	1,266
	22	1,306	1,298	1,255	1,288	1,277	1,315	1,327	1,311	1,266	1,258	1,322	1,286	1,267	1,240	1,372	1,399	1,356	1,392	1,426	1,433	1,429	1,427	1,434	1,459	1,375	1,484	1,418	1,381	1,411	1,409	1,372	1,340	1,337	1,280	1,233	1,322	1,255	1,322	1,287	1,336	1,313	1,271
	23	1,302	1,302	1,264	1,285	1,282	1,333	1,312	1,311	1,262	1,265	1,323	1,291	1,274	1,247	1,370	1,407	1,367	1,401	1,420	1,451	1,444	1,413	1,423	1,451	1,376	1,437	1,430	1,387	1,412	1,413	1,381	1,340	1,370	1,276	1,233	1,317	1,258	1,327	1,253	1,295	1,269	1,266

24	1,300	1,297	1,258	1,288	1,276	1,322	1,310	1,343	1,257	1,261	1,379	1,289	1,272	1,236	1,371	1,392	1,363	1,383	1,424	1,438	1,447	1,416	1,371	1,421	1,371	1,471	1,425	1,381	1,401	1,417	1,368	1,321	1,344	1,298	1,226	1,312	1,251	1,316	1,256	1,295	1,287	1,277
25	1,302	1,295	1,262	1,316	1,278	1,320	1,303	1,304	1,253	1,255	1,324	1,288	1,268	1,233	1,371	1,392	1,358	1,375	1,425	1,444	1,433	1,397	1,386	1,450	1,393	1,444	1,425	1,438	1,404	1,407	1,374	1,336	1,368	1,269	1,232	1,321	1,275	1,338	1,261	1,297	1,282	1,267
26	1,301	1,305	1,270	1,299	1,278	1,350	1,333	1,330	1,270	1,262	1,320	1,295	1,289	1,241	1,372	1,383	1,361	1,386	1,419	1,448	1,465	1,395	1,414	1,492	1,413	1,463	1,424	1,371	1,414	1,413	1,378	1,336	1,338	1,263	1,251	1,331	1,266	1,322	1,262	1,317	1,302	1,273
27	1,305	1,302	1,273	1,282	1,278	1,323	1,310	1,312	1,261	1,260	1,328	1,285	1,278	1,238	1,371	1,396	1,365	1,382	1,417	1,443	1,457	1,398	1,424	1,454	1,374	1,454	1,441	1,377	1,413	1,408	1,340	1,359	1,346	1,283	1,257	1,321	1,271	1,323	1,264	1,301	1,266	1,259
28	1,307	1,305	1,276	1,308	1,277	1,337	1,309	1,315	1,262	1,264	1,342	1,301	1,300	1,242	1,369	1,407	1,375	1,389	1,431	1,429	1,438	1,399	1,375	1,427	1,370	1,453	1,424	1,365	1,403	1,405	1,363	1,336	1,340	1,276	1,254	1,315	1,255	1,343	1,264	1,296	1,268	1,256
29	1,305	1,303	1,268	1,323	1,278	1,339	1,307	1,313	1,268	1,260	1,317	1,307	1,271	1,249	1,394	1,386	1,363	1,387	1,418	1,441	1,444	1,452	1,367	1,417	1,403	1,432	1,428	1,377	1,393	1,404	1,374	1,339	1,320	1,283	1,252	1,314	1,267	1,320	1,261	1,299	1,302	1,261
30	1,306	1,333	1,248	1,282	1,283	1,333	1,311	1,307	1,258	1,262	1,326	1,292	1,277	1,251	1,373	1,400	1,361	1,386	1,424	1,441	1,432	1,424	1,375	1,418	1,411	1,459	1,423	1,376	1,431	1,411	1,373	1,319	1,343	1,264	1,230	1,334	1,266	1,320	1,275	1,290	1,264	1,264
31	1,298	1,306	1,262	1,288	1,291	1,356	1,311	1,325	1,268	1,268	1,320	1,291	1,278	1,271	1,362	1,376	1,368	1,381	1,429	1,436	1,436	1,413	1,378	1,429	1,375	1,427	1,428	1,414	1,425	1,408	1,381	1,339	1,357	1,283	1,228	1,317	1,291	1,313	1,259	1,300	1,271	1,265
32	1,304	1,303	1,262	1,289	1,281	1,327	1,311	1,317	1,282	1,258	1,318	1,295	1,278	1,243	1,355	1,389	1,363	1,387	1,423	1,452	1,440	1,405	1,375	1,422	1,372	1,442	1,435	1,383	1,399	1,409	1,362	1,343	1,347	1,268	1,230	1,320	1,256	1,318	1,258	1,314	1,266	1,269
33	1,309	1,305	1,259	1,292	1,294	1,323	1,316	1,328	1,265	1,265	1,326	1,288	1,275	1,238	1,360	1,386	1,361	1,381	1,421	1,440	1,447	1,411	1,352	1,418	1,372	1,441	1,423	1,388	1,431	1,418	1,362	1,336	1,341	1,261	1,227	1,321	1,255	1,317	1,256	1,301	1,272	1,268
34	1,304	1,300	1,249	1,285	1,286	1,344	1,333	1,328	1,269	1,266	1,321	1,292	1,278	1,243	1,367	1,395	1,364	1,385	1,425	1,458	1,451	1,416	1,373	1,426	1,383	1,435	1,438	1,381	1,391	1,403	1,433	1,339	1,341	1,258	1,232	1,316	1,251	1,312	1,258	1,299	1,290	1,260
35	1,306	1,300	1,258	1,288	1,278	1,341	1,319	1,315	1,259	1,263	1,322	1,288	1,273	1,243	1,366	1,397	1,366	1,388	1,425	1,441	1,446	1,401	1,381	1,427	1,390	1,438	1,422	1,387	1,401	1,403	1,366	1,342	1,342	1,275	1,236	1,319	1,261	1,317	1,263	1,300	1,271	1,273
36	1,304	1,300	1,261	1,296	1,293	1,327	1,316	1,313	1,258	1,260	1,324	1,296	1,270	1,238	1,370	1,398	1,362	1,387	1,420	1,449	1,458	1,411	1,391	1,427	1,417	1,447	1,435	1,421	1,408	1,403	1,359	1,332	1,334	1,252	1,230	1,319	1,259	1,323	1,257	1,298	1,275	1,277
37	1,309	1,306	1,255	1,288	1,288	1,330	1,319	1,310	1,262	1,259	1,314	1,286	1,275	1,234	1,373	1,395	1,364	1,386	1,421	1,436	1,452	1,410	1,380	1,420	1,379	1,453	1,429	1,402	1,396	1,401	1,384	1,333	1,339	1,262	1,239	1,320	1,255	1,329	1,257	1,294	1,280	1,274
38	1,304	1,303	1,272	1,287	1,293	1,322	1,314	1,329	1,262	1,266	1,323	1,293	1,273	1,235	1,369	1,396	1,363	1,388	1,423	1,436	1,456	1,402	1,377	1,428	1,403	1,465	1,425	1,384	1,424	1,409	1,396	1,340	1,347	1,263	1,234	1,319	1,254	1,316	1,257	1,309	1,278	1,278
39	1,308	1,306	1,259	1,290	1,296	1,354	1,316	1,329	1,252	1,259	1,314	1,292	1,277	1,241	1,354	1,391	1,361	1,386	1,425	1,439	1,444	1,419	1,378	1,423	1,385	1,480	1,429	1,396	1,414	1,410	1,395	1,326	1,341	1,267	1,231	1,321	1,260	1,319	1,256	1,298	1,272	1,267
40	1,308	1,304	1,251	1,284	1,278	1,465	1,313	1,318	1,272	1,267	1,316	1,290	1,270	1,254	1,365	1,387	1,377	1,399	1,438	1,441	1,434	1,416	1,368	1,417	1,449	1,437	1,429	1,372	1,430	1,403	1,378	1,400	1,343	1,267	1,233	1,312	1,256	1,314	1,269	1,287	1,280	1,267
41	1,309	1,304	1,278	1,283	1,270	1,349	1,313	1,308	1,254	1,255	1,315	1,279	1,299	1,237	1,367	1,388	1,371	1,373	1,414	1,440	1,433	1,400	1,370	1,412	1,379	1,437	1,433	1,367	1,396	1,401	1,368	1,335	1,334	1,277	1,231	1,311	1,251	1,317	1,261	1,289	1,278	1,269
42	1,303	1,302	1,272	1,283	1,275	1,328	1,335	1,309	1,258	1,257	1,320	1,284	1,270	1,233	1,368	1,398	1,376	1,381	1,422	1,441	1,436	1,400	1,377	1,416	1,396	1,442	1,425	1,398	1,408	1,407	1,369	1,338	1,351	1,260	1,256	1,318	1,253	1,310	1,251	1,290	1,272	1,259
43	1,304	1,309	1,268	1,287	1,275	1,323	1,310	1,318	1,298	1,261	1,321	1,295	1,274	1,233	1,362	1,392	1,354	1,381	1,418	1,441	1,443	1,406	1,371	1,422	1,385	1,443	1,442	1,368	1,402	1,405	1,368	1,337	1,338	1,280	1,226	1,320	1,265	1,312	1,248	1,294	1,276	1,279
44	1,304	1,301	1,269	1,293	1,279	1,328	1,308	1,313	1,254	1,256	1,316	1,276	1,278	1,237	1,360	1,397	1,375	1,379	1,428	1,432	1,457	1,402	1,372	1,443	1,365	1,462	1,428	1,395	1,407	1,406	1,368	1,335	1,338	1,280	1,251	1,314	1,258	1,318	1,252	1,292	1,268	1,268
45	1,304	1,301	1,258	1,283	1,283	1,327	1,307	1,306	1,261	1,259	1,320	1,280	1,270	1,239	1,369	1,395	1,360	1,377	1,421	1,437	1,451	1,411	1,370	1,419	1,373	1,455	1,417	1,380	1,409	1,404	1,383	1,326	1,336	1,262	1,228	1,318	1,252	1,324	1,252	1,294	1,266	1,264
46	1,302	1,302	1,246	1,282	1,278	1,319	1,313	1,303	1,256	1,269	1,340	1,280	1,276	1,241	1,364	1,394	1,375	1,380	1,419	1,433	1,462	1,429	1,369	1,411	1,360	1,460	1,421	1,365	1,418	1,403	1,363	1,324	1,365	1,253	1,227	1,310	1,250	1,310	1,246	1,287	1,260	1,268
47	1,301	1,305	1,245	1,286	1,271	1,317	1,317	1,301	1,260	1,258	1,325	1,287	1,269	1,249	1,366	1,388	1,363	1,380	1,420	1,446	1,454	1,421	1,371	1,416	1,369	1,433	1,431	1,362	1,421	1,408	1,368	1,347	1,364	1,260	1,224	1,315	1,246	1,321	1,249	1,334	1,288	1,261
48	1,302	1,305	1,248	1,307	1,275	1,323	1,310	1,306	1,258	1,259	1,319	1,284	1,274	1,234	1,371	1,390	1,379	1,395	1,420	1,439	1,443	1,414	1,408	1,430	1,389	1,434	1,428	1,425	1,428	1,405	1,328	1,344	1,362	1,271	1,242	1,317	1,249	1,315	1,247	1,302	1,299	1,272
49	1,302	1,308	1,251	1,308	1,272	1,313	1,306	1,300	1,269	1,253	1,321	1,282	1,265	1,235	1,363	1,372	1,357	1,396	1,416	1,431	1,446	1,421	1,407	1,424	1,376	1,418	1,408	1,419	1,414	1,402	1,356	1,333	1,364	1,268	1,228	1,319	1,254	1,317	1,270	1,302	1,262	1,260
50	1,303	1,304	1,256	1,305	1,268	1,320	1,308	1,307	1,259	1,257	1,319	1,286	1,268	1,236	1,362	1,391	1,355	1,384	1,419	1,449	1,441	1,423	1,406	1,416	1,367	1,432	1,427	1,419	1,419	1,405	1,404	1,357	1,329	1,264	1,219	1,319	1,252	1,322	1,254	1,295	1,261	1,261
51	1,302	1,302	1,262	1,304	1,299	1,359	1,309	1,306	1,254	1,255	1,319	1,278	1,270	1,246	1,367	1,388	1,358	1,376	1,414	1,442	1,433	1,401	1,367	1,419	1,370	1,463	1,420	1,366	1,411	1,404	1,374	1,330	1,326	1,270	1,223	1,316	1,248	1,324	1,251	1,291	1,263	1,273

52	1,301	1,308	1,264	1,311	1,274	1,310	1,306	1,304	1,274	1,256	1,310	1,283	1,269	1,285	1,365	1,390	1,350	1,378	1,413	1,437	1,435	1,414	1,362	1,417	1,375	1,441	1,436	1,366	1,408	1,409	1,366	1,336	1,333	1,257	1,226	1,316	1,254	1,319	1,264	1,294	1,262	1,257
53	1,308	1,307	1,254	1,307	1,294	1,339	1,306	1,301	1,264	1,257	1,316	1,283	1,264	1,233	1,364	1,394	1,377	1,380	1,418	1,437	1,426	1,441	1,363	1,416	1,377	1,433	1,421	1,370	1,400	1,403	1,363	1,330	1,338	1,269	1,222	1,314	1,252	1,321	1,250	1,290	1,268	1,267
54	1,302	1,304	1,250	1,317	1,273	1,345	1,307	1,309	1,249	1,258	1,318	1,283	1,269	1,235	1,364	1,392	1,372	1,374	1,419	1,432	1,442	1,400	1,381	1,415	1,386	1,439	1,457	1,391	1,413	1,400	1,368	1,339	1,341	1,272	1,227	1,322	1,261	1,319	1,251	1,293	1,265	1,273
55	1,302	1,301	1,252	1,312	1,271	1,319	1,330	1,303	1,250	1,254	1,315	1,289	1,270	1,242	1,361	1,387	1,363	1,384	1,417	1,434	1,439	1,408	1,376	1,421	1,368	1,405	1,447	1,424	1,366	1,414	1,395	1,356	1,336	1,250	1,228	1,315	1,253	1,312	1,257	1,297	1,262	1,264
56	1,309	1,305	1,251	1,309	1,273	1,318	1,312	1,308	1,255	1,246	1,315	1,283	1,272	1,260	1,367	1,390	1,356	1,377	1,417	1,444	1,459	1,414	1,360	1,420	1,357	1,455	1,428	1,386	1,395	1,404	1,370	1,332	1,344	1,257	1,252	1,319	1,259	1,308	1,261	1,293	1,267	1,274
57	1,309	1,306	1,252	1,303	1,270	1,321	1,308	1,318	1,261	1,253	1,314	1,286	1,266	1,233	1,356	1,382	1,357	1,344	1,403	1,419	1,432	1,445	1,400	1,422	1,419	1,424	1,429	1,419	1,397	1,421	1,403	1,369	1,339	1,256	1,232	1,313	1,259	1,310	1,256	1,289	1,276	1,269
58	1,305	1,308	1,254	1,302	1,272	1,328	1,395	1,312	1,251	1,256	1,314	1,281	1,271	1,236	1,363	1,381	1,360	1,376	1,414	1,424	1,436	1,429	1,369	1,417	1,422	1,437	1,452	1,375	1,398	1,407	1,361	1,339	1,338	1,263	1,223	1,313	1,245	1,312	1,251	1,289	1,299	1,263
59	1,301	1,303	1,261	1,303	1,300	1,317	1,313	1,302	1,250	1,251	1,319	1,275	1,271	1,221	1,347	1,391	1,352	1,377	1,459	1,431	1,436	1,406	1,374	1,422	1,359	1,428	1,420	1,365	1,382	1,400	1,370	1,327	1,329	1,258	1,223	1,309	1,254	1,320	1,255	1,291	1,288	1,269
60	1,308	1,303	1,244	1,287	1,262	1,316	1,305	1,310	1,255	1,254	1,316	1,280	1,267	1,230	1,360	1,384	1,382	1,378	1,415	1,430	1,436	1,415	1,372	1,427	1,375	1,415	1,423	1,374	1,396	1,407	1,368	1,337	1,329	1,260	1,255	1,310	1,260	1,311	1,246	1,280	1,263	1,272